



Udvikling af nye typer solafskærmnings-systemer baseret på dagslyssdirigerende solafskærmende glaslameller

Iversen, Anne; Laustsen, Jacob Birck; Svendsen, Svend ; Traberg-Borup, Steen; Johnsen, Kjeld

Publication date:
2009

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Iversen, A., Laustsen, J. B., Svendsen, S., Traberg-Borup, S., & Johnsen, K. (2009). *Udvikling af nye typer solafskærmnings-systemer baseret på dagslyssdirigerende solafskærmende glaslameller*. DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet. B Y G D T U. Rapport No. R-211

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Udvikling af nye typer solafskærmnings-systemer baseret på dagslyssdirigerende solafskærmende glaslameller



Institut for Byggeri og Anlæg

Rapporten er udført i samarbejde med SBI (Statens Byggeforskningsinstitut), Scanglas, Blendex A/S og Hansen Profile

Rapport 2009

Anne Iversen, DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet,
Jacob Birck Laustsen, NIRAS A/S, Svend Svendsen, DTU Byg,
Danmarks Tekniske Universitet, Steen Traberg-Borup, Statens
Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, Kjeld Johnsen,
Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
DTU Byg-Rapport R-211 (DK)
ISBN= 9788778772893
11 2009

Forord

Nærværende rapport omhandler projektet "Udvikling af nye typer solafskærmningssystemer baseret på dagslyssdirigerende solafskærmende glaslameller", Projektnr. 338-053, støttet af ELFOR/Dansk energi Net.

Projektet er udført i samarbejde med SBI (Statens Byggeforskningsinstitut), Scanglas, Blendex A/S og Hansen Profile

Sammenfatning

I forbindelse med projektet er der udviklet et nyt solafskærmningssystem bestående af solafskærmende reflekterende glaslameller, som både skal fungere som almindelig solafskærmning og samtidig skal kunne forbedre dagslysforholdene inde i bygningen, når der er brug for det, ved at reflektere lyset længere ind i rummet.

Vha. programmet IESve/Radiance er der foretaget simuleringer dagslysforholdene i et kontorlokale ved anvendelse af det udviklede solafskærmningskoncept. Beregningsmodellen er brugt til at optimere glaslamelsystemets udformning og dimensioner (lamelhældning, -bredde og -afstand). Beregningerne har vist at en lamelhældning på 30 grader giver bedste dagslyssdirigerende effekt i overskyet vejr. I denne position fås, sammenlignet med samme facade uden solafskærmning, en mindre reduktion af dagslysfaktoren tæt på vinduerne mens den bagest i lokalet er stort set uændret. Sammenlignet med traditionelle lamelsystemer giver de reflekterende glaslameller højere dagslysfaktorer i bygningen.

Der er foretaget dagslysmålinger af solafskærmningssystemet i SBI's dagslyslaboratorium. Målingerne viser at dagslysfaktoren i overskyet vejr reduceres med ca. 20 % 1,2 m fra facaden hvor der som regel er rigeligt lys, mens den er uændret eller en anelse højere bagest i lokalet hvor der ofte er problemer med for lidt dagslys. I klart vejr med direkte solskin og lamellerne i solafskærmende position sker der en reduktion af belysningsstyrken ind gennem hele rummet. Altså svarer resultaterne fra beregningerne stort set til målingerne. Det udviklede solafskærmningssystem reducerer sollysindfaldet i solafskærmende position uden at forringe dagslysforholdene i bygningen under overskyede forhold hvor lamellerne er vinklet i dagslyssdirigerende position.

Glaslamelsystemets effekt på det termiske indeklimate og energiforbrug er analyseret vha. beregninger i programmet BSim og ved målinger på solafskærmningssystemet monteret i DTU's Passys testcelle.

Indhold

Forord	1
Sammenfatning.....	1
1 Indledning	4
1.1 Baggrund.....	4
1.2 Formål	4
2 Beskrivelse af det udviklede solafskærmningskoncept.....	4
3 Dagslysmålinger i 1:10 model	7
3.1 Beskrivelse af 1:10 model.....	7
3.2 Validering af 1:10 model	7
3.3 Undersøgelse af redirigering af lys i glaslameller i 1:10 model.....	8
4 Indledende dagslysberegninger	9
4.1.1 Resultater	9
5 Dagslysmålinger i SBIs dagslyslaboratorium.....	12
9.1 SBI's Lyslaboratorium	12
5.1 Forsøgsbetingelser	15
5.2 Forsøgsresultater.....	18
5.2.1 Case1	18
5.2.2 Case 2	19
5.2.3 Case 3	20
5.2.4 Case 4	21
6 Sammenligning mellem dagslysmålinger og dagslysberegninger i IESve Radiance.....	23
6.1 The method	23
6.2 The model.....	23
6.2.1 The surfaces properties	25
6.2.2 The Sky / Date / Time	29
6.2.3 Image quality	29
6.3 Results and comparison with the measurements	29
6.3.1 Case 1 – upper lamellas in tilt -30	33
6.3.2 Case 2 – lamellas in tilt -30	34
7 Avancerede dagslysberegninger i Radiance	37
7.1 Metode	37

7.1.1	Opbygning af glaslameller i Radiance	37
	Belysningsstyrke på arbejdsplan og øjenhøjde	38
	Resultater	38
	Lystransmittans for lamelsystem	38
	Solenergitransmittans for lamelsystem.....	39
	Overskyet vejr – lystransmittans	40
	Overskyet vejr - Reduktion i dagslysfaktor	41
7.1.2	Direkte sol – lystransmittans	42
7.1.3	Direkte sol – Reduktion i belysningsstyrke	47
7.1.4	Direkte sol - vertikal belysningsstyrke i øjenhøjde.....	47
7.1.5	Solenergitransmittans for systemet	48
7.2	Anbefalinger	51
7.3	Konklusion	51
8	Energimæssige beregninger	51
8.1	BuildingCalc/LightCalc	51
8.2	BSim	53
8.2.1	Anvendelse af resultater fra Radiance	53
8.2.2	BSim-beregninger.....	55
8.2.3	Blændingsproblemer.....	56
8.2.4	Resultater	57
9	Målinger i Passys Test Celle på DTU.....	59
9.1	Måling af solenergitransmittans for glaslamellerne.....	59
	Konklusion	62
	Referencer	63
	Bilag 1 – Reduktionsfaktorer for arbejdsplanet i direkte sol	64
	Bilag 2 – Vertikal illuminans i øjenhøjde for forskellige lamelhældninger	68

1 Indledning

1.1 Baggrund

De skærpede krav til energirammen i det nye bygningsreglement og indførelsen af lavenergibyggnings klasse 1 og 2 samt krav til dagslysforhold med en dagslysfaktor på minimum 1 % på arbejdspladser skaber store udfordringer til design af fremtidens facadeudformninger.

For at nedbringe energiforbruget i bygninger med glasfacader er det nødvendigt at anvende effektive solafskærmninger, som reducerer el-forbruget til køling og ventilation. Men samtidig er der behov for at optimere udnyttelsen af dagslyset for at opfylde kravet til dagslysfaktoren og for at reducere el-forbruget til kunstig belysning. I bygninger med stor rumdybde i forhold til vinduesarealet er der ofte rigeligt dagslys tæt på vinduerne, men for lidt dagslys bagest i rummet. Ofte anvendes lamelsystemer af ikke transparent materiale f.eks. aluminium. De kan give effektiv solafskærmning, men da de ofte ikke er flytbare og måske ikke variable forringer de udsynet og reducerer dagslysniveauet yderligere i bygningen. Der er derfor behov for at udvikle nye solafskærmningssystemer, som kan afskærme effektivt for direkte solstråling for at undgå overtemperaturer, men som samtidig kan dirigere en del af sollyset længere ind i lokalet når der er brug for det.

1.2 Formål

Projektets formål er at udvikle og analysere et nyt fleksibelt solafskærmningssystem baseret på reflekterende glaslameller, som kan afskærme for solstråling uden at reducere udsynet væsentligt og som under overskyede forhold kan forbedre dagslysniveauet sammenlignet med tilsvarende traditionelle lamelbaserede solafskærmninger. Solafskærmningen forventes således at kunne reducere el-forbruget til ventilation og køling uden at dagslysforholdene i bygningen forringes. Sammenlignet med traditionelle solafskærmende lamelsystemer forventes det nye system at forbedre dagslysforholdene, hvilket giver el-besparelser til kunstig belysning.

I byggeriet anvendes allerede i dag forskellige former for glaslameller som solafskærmning, hvor den solafskærmende effekt som regel opnås ved at anvende farvet glas eller glas med silketryk. I dette projekt skal der i stedet arbejdes med glas med spejlende solafskærmningsbelægninger, som har en stor reflektans og derfor vil være bedre til at redigere dagslyset ind i bygningen.

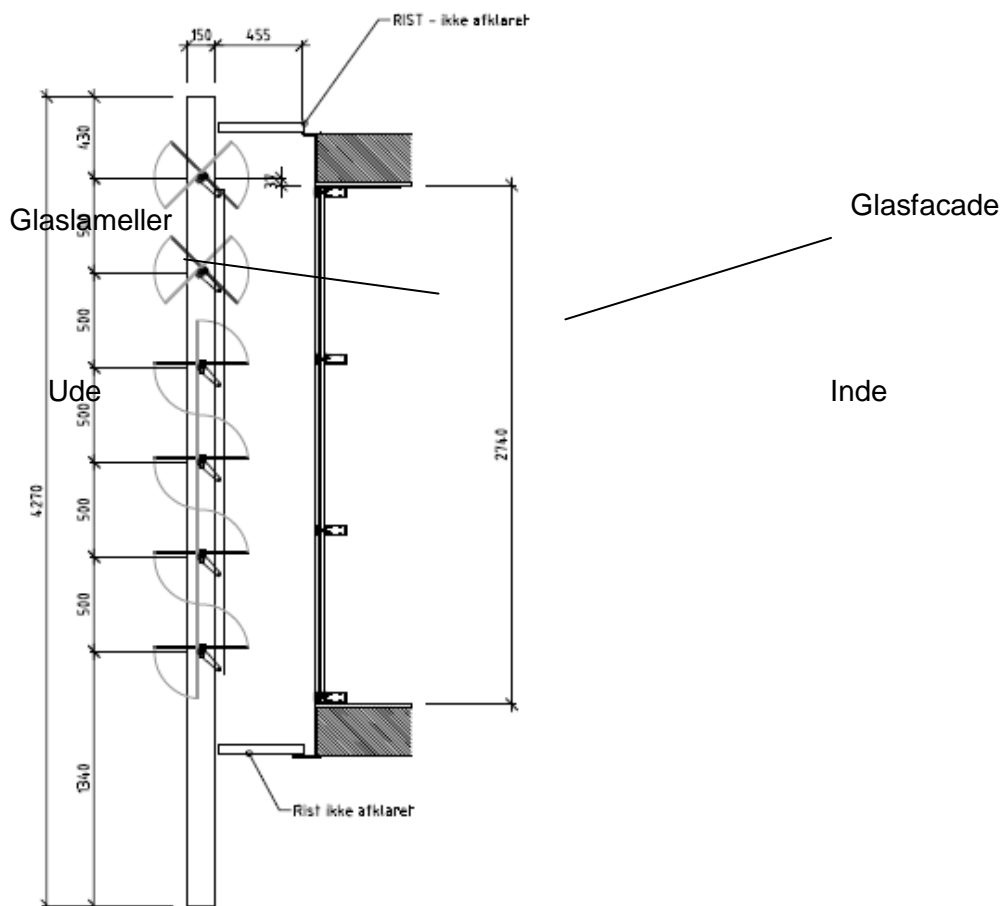
2 Beskrivelse af det udviklede solafskærmningskoncept

I forbindelse med projektet er der udviklet et nyt solafskærmningssystem bestående af solafskærmende reflekterende glaslameller, som både skal fungere som almindelig solafskærmning og samtidig skal kunne forbedre dagslysforholdene inde i bygningen, når der er brug for det, ved at reflektere lyset længere ind i rummet.

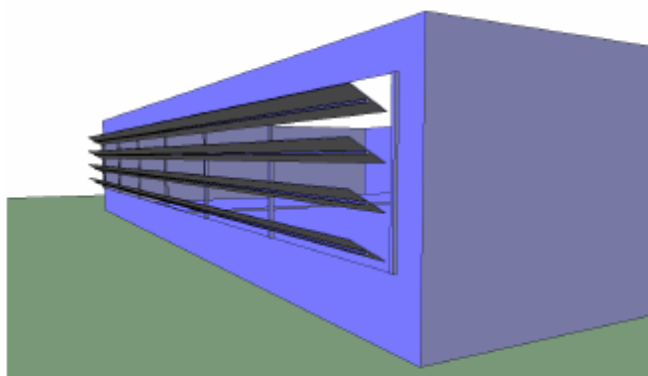
Det udviklede solafskærmningssystem består af 50 cm brede glaslameller monteret uden på facaden med en indbyrdes afstand på 50 cm, se Figur 1. Glaslamellerne, som er lavet af klart glas

med en solafskærmende reflekterende belægning, kan vippes i forskellige positioner afhængig af vejrtypen og behovet for solafskærmning eller forbedrede dagslysforhold.

I solskinsvejr vinkles lamellerne lodret og fungerer som alm. solafskærmende glas med den reflekterende overflade udvendig. Pga. lamellernes dimensioner og indbyrdes afstand dækker de hele facaden i lodret position svarende til et ekstra lag glas. På overskyede dage og andre tidspunkter, hvor der ikke er meget lys indenfor, vinkles lamellerne, så de hælder ca. 30 grader indad med den reflekterende overflade vendende opad/ind mod facaden. I denne position reflekteres lyset fra himlen via lamellerne længere ind i rummet hvor der er behov for mere lys, se Figur 2 og Figur 3



Figur 1. Lodret snit i glasfacaden og glaslamelsystemet.



Figur 2. Illustration af glaslamellerne monteret på en facade. Lameller vinklet i dagslysdigerende position.



Figur 3. Glaslamellerne i hhv. solafskærmende, tv. og dagslysdigerende position th.

Glaslamellernes længde kan variere afhængig af facadens udformning. Ved brede rudefelter ønskes også ofte lange lameller for at reducere antallet af lodrette bæreprøfer. Ved lamellængder over ca. 1,5 m monteres lamellerne på vandrette understøttende bærerør. Disse kan undværes på kortere lameller som med fordel kan anvendes på facader med mindre rudefelter.

Det anvendte glas er Scanglas Antelio Silver som er et solafskærmende glas med reflekterende belægning. Data for Antelio Silver er vist i Tabel 1.

Tabel 1. Data for glaslamellerne lavet af det solafskærmende glas Antelio Silver.

Visuel reflektans	Lystransmittans	Sol reflektans	Solenergitransmittans
R_v	L_T	R_s	S_T
0,31	0,66	0,25	0,63

3 Dagslysmålinger i 1:10 model

Indledende undersøgelser er blevet udført for at teste redirigeringen af lyset. Undersøgelserne er udført i en 1:10 model af et standard kontor.

3.1 Beskrivelse af 1:10 model

1:10 modellen er opbygget svarende til et standard kontor på Danmarks Tekniske Universitet. I dette tilfælde rum 213 i bygning 118.

Rummet har dimensionerne 2,85m bredt, 3m højt og 6m dybt. Modellen laves efter disse dimensioner. Reflektanserne i modellen tilpasses så vidt muligt reflektanserne i rum 213.

	gulv	loft	væg	reoler
Reflektanser:	0.2	0.8	0.8	0.3

I modellen anvendes en Pilkington Optitherm SN 4-15-SN4 rude.



Figur 4: Billede af 1) Testrum, rum 213 bygning 118 på DTU 2) model i 1:10

3.2 Validering af 1:10 model

Til at foretage målingerne benyttes fire luxmetre type SD2 og tilhørende multichannel amplifiser MCA-1600 fra B. Hagner AB. Luxmeter 1 og 2 er til indendørs målinger og er kalibrerede op til 10.000lux. Luxmeter 3 og 4 er til udendørs målinger og er kalibrerede op til 100.000lux. Målingerne fra luxmetrene opsamles i en Grant SQ 1600 datalogger. Fra denne datalogger kan målingerne eksporteres til en computer vha. programmet Setwise.

Belysningsniveauerne for testrummet 213 og 1:10 modellen fremgår af Tabel 2.

Tabel 2: Målinger af belysningsstyrken for Testrum 213 og model 1:10

	Testrum 213	Model 1:10	Forskel
Ekstern betingelse [lux]			
Vandret flade udenfor	7269	7247	0.3%
Indvendige målinger [lux]			

Vandret flade bagerst	284	315	10%
Lodret flade bagerst	366	345	6%

Målingerne viser, at der er en forskel på 10% mellem Testrum og 1:10 model på en vandret flade bagerst i rummet, mens at forskellen er 6% for en lodret flade bagerst i rummet. Det vurderes at denne forskel er acceptabel, taget med i betragtningen at der ligger usikkerheder i nedskaleringen af modellen, samt opbygningen af interiøret. Det vurderes, at modellen kan anvendes til simple vurderinger af dagslysforhold i rum. Ses der kun ses på forholdene i modellen, vil indflydelsen af lamellerne kunne vurderes relativt.

3.3 Undersøgelse af redirigering af lys i glaslameller i 1:10 model

Der er foretaget målinger på en overskyet dag. Billede af testopstillingen ses i Figur 5.



Figur 5: Testopstilling af 1:10 model

Belysningsstyrken udvendt på vandret plan var konstant ca. 7500 lux, se Tabel 3. Der er foretaget målinger for 2 situationer.



Figur 6: Lamelstilling for de 2 situationer. 1) lameller redirigerer lyset 2) ingen lameller

Resultaterne af disse målinger fremgår af tabel Tabel 3.

Tabel 3: Belysningsstyrker i rum og uden for i de 2 forskellig undersøgte situationer

Belysningsstyrker	Midt i rummet [lux]	Ude lodret [lux]	Ude vandret [lux]
Lameller redirigerer	110	3697	7516
Ingen lameller	85	3698	7563

Af belysningsstyrkerne i Tabel 3 ses det, at med lamellerne placeret i den redirigerende position, da opnås en forøgelse i belysningsniveauet midt rummet i forhold til situationen uden lameller

foran ruden. Denne indledende undersøgelse viser, at der er gode muligheder for at lave en solafskærmning, der kan fungere som lysdirigerende enhed i overskyet vejr.

4 Indledende dagslysberegninger

Dette afsnit gengiver beregninger udført i et eksamensprojekt udført af Tine Skotte ved DTU Byg.

Der er foretaget indledende simuleringer i programmet IESve/Radiance af dagslysfaktoren i et storrums kontor med det udviklede solafskærmningssystem monteret uden på facaden med henblik på at optimere udformningen af lamelsystemet og bestemme den hældning som giver den bedste dagslysdiregerende effekt dvs. hvor lyset reflekteres længst ind i lokalet.

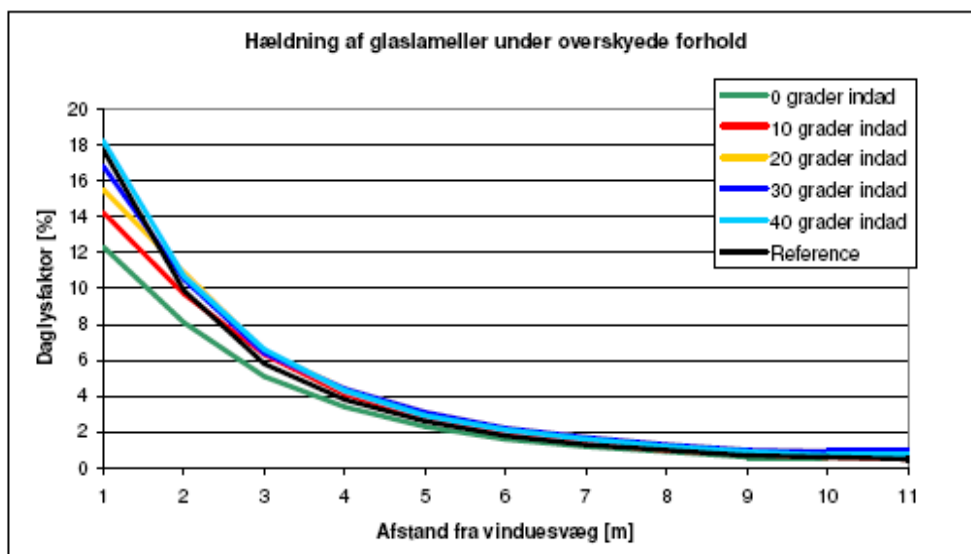
Der er regnet på et storrums kontor med stor dybde, da problemerne med for lidt dagslys typisk opstår i stor afstand fra facaden. Dimensionerne for lokalet er vist i Tabel 4.

Tabel 4. Dimensioner for kontorlokalet.

Model	Højde	Bredde	Dybde
Lokale (indvendig/udvendig)	3 m / 3,3 m	18,6 m / 19,15 m	11,5 m / 12 m
Vinduer	Højde 2,05 m	Bredde 1 m/3 m	Offset fra gulv 0,85 m

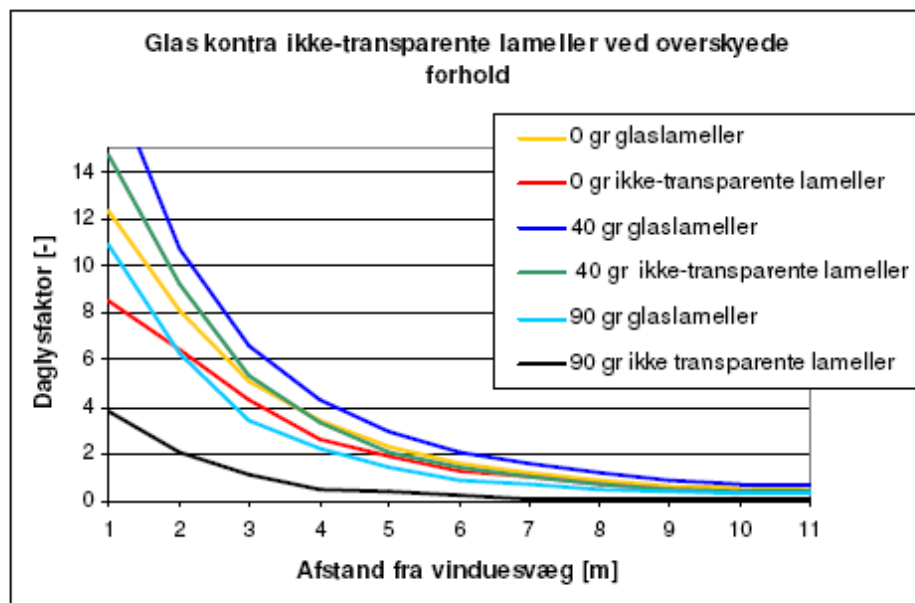
4.1.1 Resultater

På Figur 7 er dagslysfaktoren for forskellige lamelhældninger vist for overskyede forhold. Af figuren fremgår det, at der er nogen forskel på dagslysfaktoren tæt på facaden for forskellige hældninger, men variationen er begrænset bagest i lokalet. Den højeste dagslysfaktor bagest i lokalet opnås dog med en lamelhældning på 30 ° og den er endda en anelse højere end for referencen som er glasfacaden uden glaslameller. Det er derfor valgt at anvende 30 ° som udgangspunkt i de efterfølgende simuleringer og målinger.



Figur 7. Beregnede dagslysfaktorer for forskellige hældninger af lamellerne. Reference = ingen solafskærmning

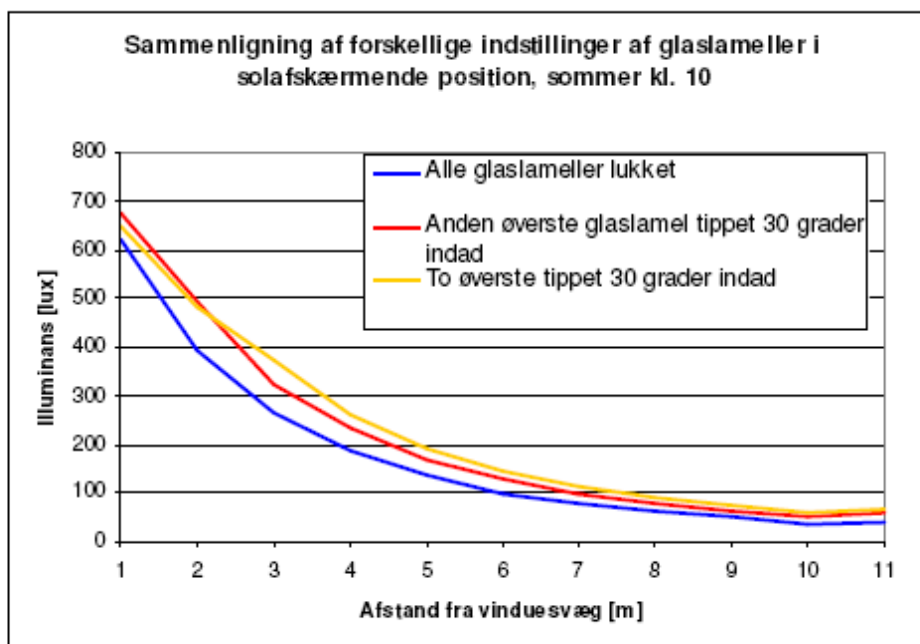
På Figur 8 er vist dagslysberegninger under overskyede forhold for reflekterende glaslameller og for tilsvarende traditionelle ikke transparente lameller af f.eks. aluminium. Det fremgår af figuren, at glaslameller reducerer dagslyset mindre end ikke transparente lameller.



Figur 25 Sammenligning af dagslysforhold for glas og ikke transparente lameller

Figur 8. Beregnede dagslysfaktorer for reflekterende glaslameller og ikke transparente lameller, f.eks. aluminium.

På Figur 9 er belysningsstyrken for forskellige solafskærmende positioner af lamellerne i klar solskin vist. Det fremgår at lamellerne reducerer lysindfaldet mest i lodret position.



Figur 9. Beregnede dagslysfaktorer for glaslamellerne i forskellige solafskærmende positioner i klar solskin.

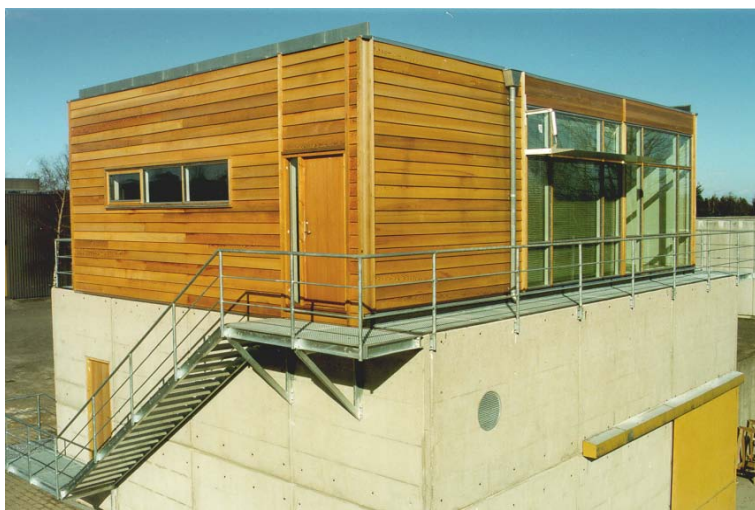
Det har i forbindelse med simuleringerne vist sig at der er visse begrænsninger i IESve's muligheder for at modellere glaslamelsystemer helt korrekt særligt ved skyfri himmel og direkte solskin. Der er derfor foretaget tilsvarende simuleringer i den originale og fulde version af programmet Radiance som i begrænset form anvendes som "regnemaskine" i IESve.

5 Dagslysmålinger i SBI's dagslyslaboratorium

Der er foretaget dagslysmålinger på det udviklede solafskærmningssystem monteret på SBI's dagslyslaboratorium.

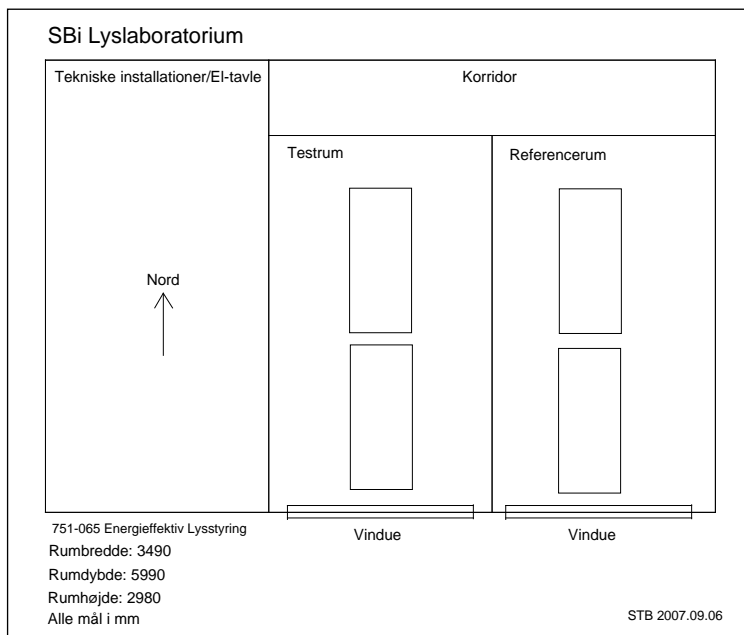
9.1 SBI's Lyslaboratorium

SBI og SBI's Lyslaboratorium er beliggende i Hørsholm nord for København (breddegrad 55.86°N, længdegrad 12.49°Ø). Lyslab har to ens forsøgsrum med sydvendte facader. Laboratoriet ligger ca. 7 meter over terræn på nordsiden og ca. 13 meter over terræn på sydsiden, Figur 10.



Figur 10. SBI's Lyslaboratorium, Vest- og sydfacade.

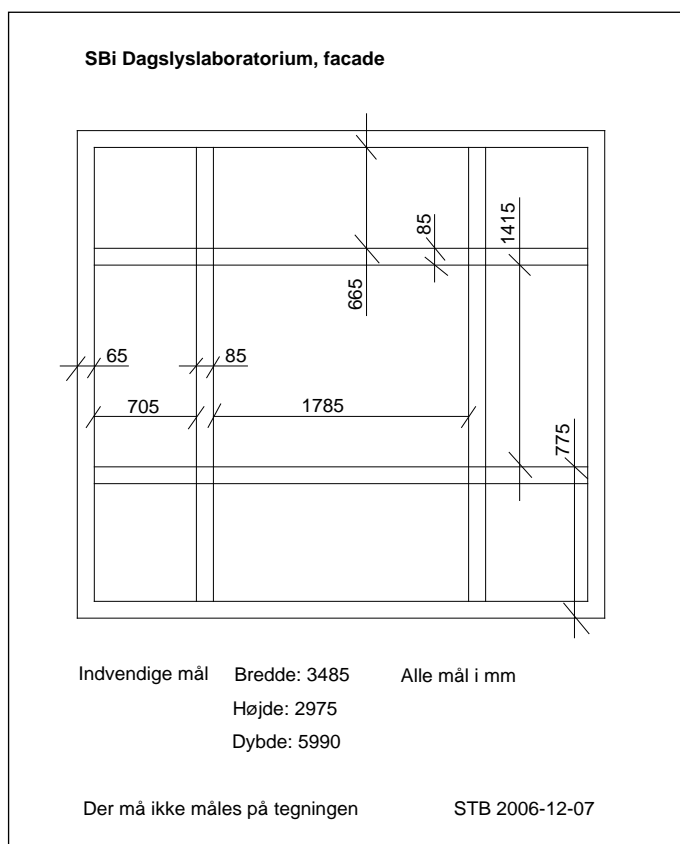
Vinduerne i sydfacaden vender mod en næsten fri horisont. De to forsøgsrum er identiske og måler ca. 3,5 meter i bredden, ca. 6,0 meter i dybden og med ca. 3.0 meter til loftet, Figur 11.



Figur 11. Plan over SBi's Lyslaboratorium.

I hvert forsøgsrum kan der dels etableres vinduer i fuld facade, eller dele af facaden kan afdækkes så der fremkommer et mindre vinduesareal, se

Figur 12.



Figur 12. Opstalt af vinduesfag i sydfacade.

Begge forsøgsrum vil blive brugt under forsøget med forskellige anlæg i hvert rum i samme tidsperiode. Forsøgsrummene vil være møbleret som et typisk kontor. Ud over møblering vil der være opsat forskelligt måleudstyr, Figur 13.

Vinduerne i forsøgsrummene er med to-lags energiruder, lav-emmissionsglas med argon-fyldning (Pilkington, Optitherm S). Vinduerne har følgende optiske og termiske egenskaber:

Direkte transmittans: 72%

g-værdi: 56%

Diffus visuel transmittans: 65%

Reflektans, forside: 15%; bagside: 14%

U-værdi: 1,1 W/m²°C

Vægge i forsøgsrum er glasfibervæv malet i en lys grå farve. Lofter i forsøgsrum består af et hvidt nedhængt kassette-loft 600x600 mm. Gulve er dækket af mellemgråt væg-til-væg tæppe. De indre overflader har følgende optiske egenskaber:



Figur 13. Typisk indretning af forsøgsrum.

Vægge: Lys grå mat overflade. Reflektans: 62%

Loft: Hvid mat overflade. Reflektans: 88%

Gulv: Mellemgråt mat gulvtæppe. Reflektans: 11%

Borde/reoler: Træ, mørk brun overflade med ringe spejling. Reflektans: 15%

Alternativ: Hvide borde med spejlende overflade. Reflektans: 80%

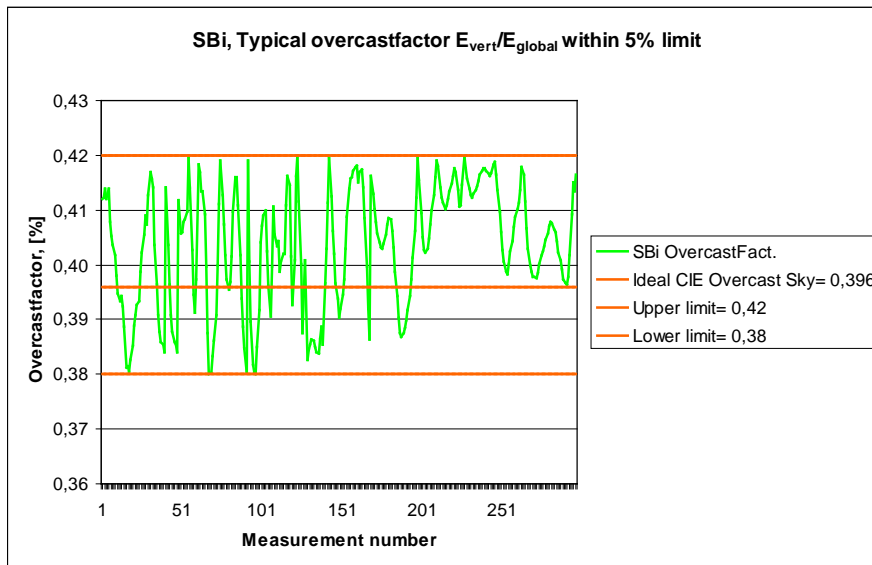
I loftet er der indbygget belysningsarmaturer, hvilket reducerer reflektansen en lille smule. Der kan ses bort fra denne reduktion i forsøget.

5.1 Forsøgsbetingelser

Forsøgene med dagslydirigerende glaslameller tager udgangspunkt i to vejrtyper, nemlig overskyet vejr og fuld sol. I overskyet vejr forudsættes himlen at være af typen CIE-Overcast Sky, en ideal himmeltype. I denne situation vil forholdet mellem den horisontale belysningsstyrke og den vertikale belysningsstyrke E_v/E_h være 0,396. En opgørelse over dette forhold i forsøgsperioden med overskyet vejr vises i Figur 14. På figuren er kun medtaget data hvor E_v/E_h ligger inden for en grænse på 5% af den ideelle værdi, idet det ikke er muligt at opnå fuldstændig ideelle forhold i naturen.

De dagslydirigerende glaslameller blev monteret uden på den eksisterende facade i Lyslaboratoriet ud for testrummet. Den effektive vinduesstørrelse blev reduceret til at udgøre den centrale og øverste del af facaden i både test- og referencerum, se Figur 15, Figur 16, Figur 17 og Figur 18.

I forsøgsperioderne med gråvejr og solskin blev glaslamellerne vinklet i forhold til lodret således, at der blev arbejdet med fire cases, case 1 – 4. Glaslamellernes positioner er vist skematisk i Figur 19, Figur 20, Figur 21 og Figur 22. Som beskrevet andetsteds har alle glaslameller en spejlende belægning på den ene overflade. I case 1 vender den spejlende overflade ind mod facaden ved de to øverste lameller, mens den spejlende overflade vender opad for de tre nederste lameller. I case 2 vender den spejlende overflade ind mod facaden ved alle lameller. I case 3 vender den spejlende overflade bort fra facaden.



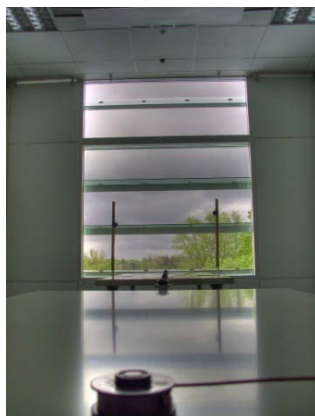
Figur 14. Forholdet E_v/E_h for gråvejrssituationer i forsøgsperioden.



Figur 15. Glaslamellerne monteret uden på facaden i testrummet (tv). Th. ses referencerummet.



Figur 16.
Dagslysdiregerende
glaslameller opsat ud for
testrummet.



**Figur 17. VINDUESSTØRRELSE I
TESTRUM.**



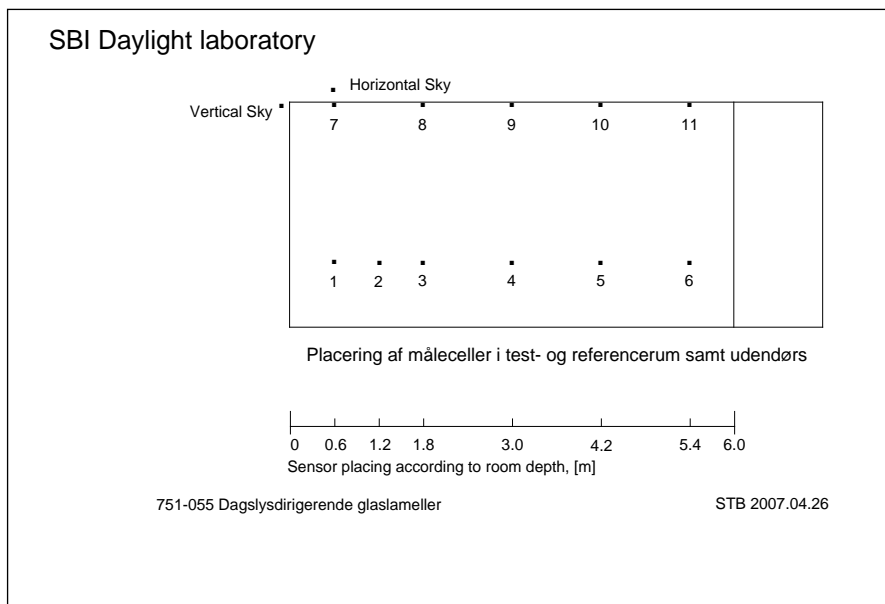
**Figur 18. Vinduesstørrelse i
referencerum.**

<p>Case 1 Overskyet</p> <p>Testrum</p>	<p>Case 2 Overskyet</p> <p>Testrum</p>
Figur 19. LAMELSTILLING I CASE 1.	Figur 20. LAMELSTILLING I CASE 2.

<p>Case 3 Solskin</p> <p>Testrum</p>	<p>Case 4 Solskin</p> <p>Testrum</p>
Figur 21. LAMELSTILLING I CASE 3.	Figur 22. LAMELSTILLING I CASE 4.

ved alle lameller. I case 4 vender den spejlende overflade ind mod facaden ved de to øverste lameller, mens den spejlende overflade vender bort fra facaden for de tre nederste lameller.

I test- og referencerum findes belysningsmålere placeret i rummenes midterakse hhv. 0,85 m over gulv og på loftplan. På taget af Lyslaboratoriet måles den horisontale belysningsstyrke samt den vertikale belysningsstyrke på facaden, se Figur 23. Måleudstyret er af fabrikat Hagner type MCA-1600 Multi-Channel Amplifier med tilhørende belysningssensorer af typen SD1. Alle belysningsstyrkemålinger foretages i enheden lux.



Figur 23. Placering af belysningsmålere 0,85 m over gulv og på loftplan, desuden vises placering af målere for vertikal og horisontal belysningsstyrke ved facade og tag.

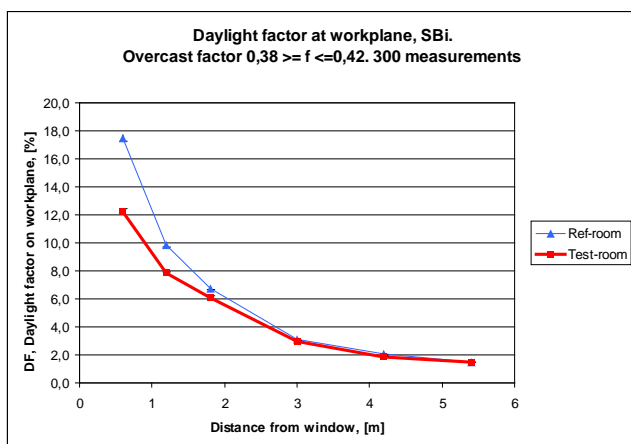
5.2 Forsøgsresultater

I det følgende præsenteres måleresultaterne for de fire cases. I case 1 og 2 vurderes den såkaldte dagslysfaktor. Dagslysfaktoren DF er defineret som forholdet mellem belysningsstyrken i et punkt inde i lokalet og den samtidige horisontale belysningsstyrke ude målt med fri horisont, $DF = E_{inde}/E_{ude}$. Der arbejdes kun med dagslysfaktoren i overskyet vejr. I solskin, case 3 og 4, vurderes belysningsstyrkerne i målepunkterne som et gennemsnit over en periode på fem minutter formiddag, middag og eftermiddag. I solskin arbejdes der således *ikke* med en dagslysfaktor.

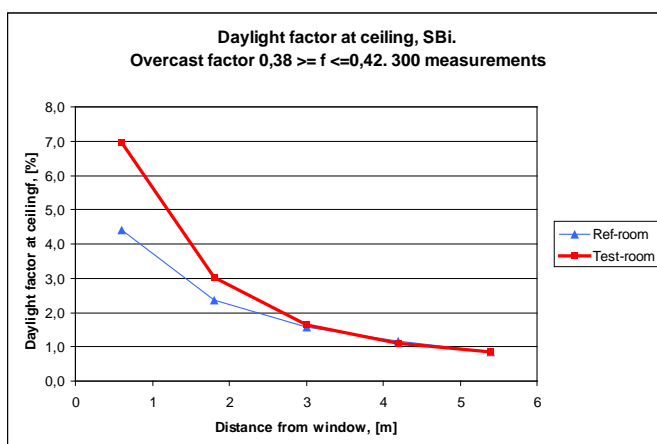
5.2.1 Case1

I case 1 sker der en reduktion af dagslysfaktoren i arbejdsplanet (0,85 m over gulv) ind gennem rummet, se Figur 24. Reduktionen er størst ude ved vinduet og aftager gradvist. Bagest i rummet er dagslysfaktoren ens i testrum og referencerum. Ved at vinkle de to øverste glaslameller og vandretstille de tre underste lameller opnås således en reduktion af belysningsstyrken i de vinduesnære områder, hvor der i forvejen er mere end tilstrækkeligt med lys uden at reducere dagslysfaktoren bagest i rummet.

Betragtes dagslysfaktoren i loftet, se Figur 25, ses at dagslysfaktoren øges betydeligt ude ved vinduet for derefter at aftage ind i rummet. Faktisk er dagslysfaktoren bagest i rummet en lille smule højere i testrummet end i referencerummet, 0,9 mod 0,8.



Figur 24. Case 1, DF på arbejdsplan.

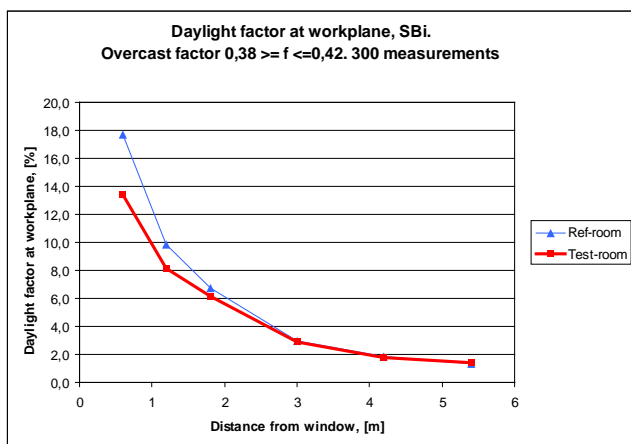


Figur 25. Case 1, DF på loftplan.

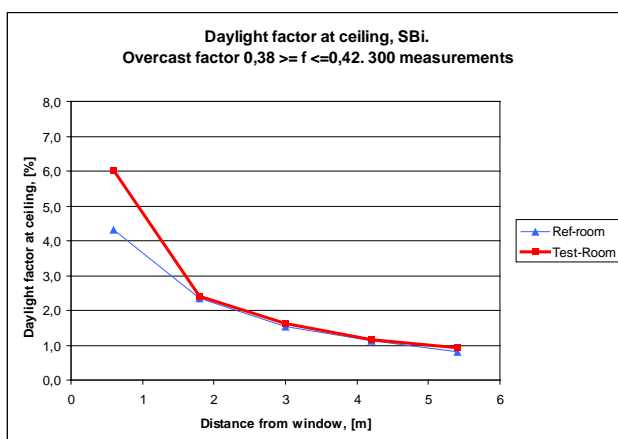
5.2.2 Case 2

I case 2 sker der en reduktion af dagslysfaktoren i arbejdsplanet (0,85 m over gulv) ind gennem rummet, se Figur 26. Reduktionen er størst ude ved vinduet og aftager gradvist. Den samlede reduktion er dog mindre udpræget når alle lameller er vinklet mod facaden. Bagest i rummet er dagslysfaktoren større i testrummet end i referencerummet, 1,4 mod 1,3. Ved at vinkle alle glaslameller opnås således en mindre reduktion af belysningsstyrken i de vinduesnære områder, hvor der i forvejen er mere end tilstrækkeligt med lys samtidig med at dagslysfaktoren bagest i rummet øges en smule.

Betragtes dagslysfaktoren i loftet, se Figur 27, ses at dagslysfaktoren øges betydeligt ude ved vinduet for derefter at aftage ind i rummet. Faktisk er dagslysfaktoren bagest i rummet en lille smule højere i testrummet end i referencerummet, 0,9 mod 0,8.



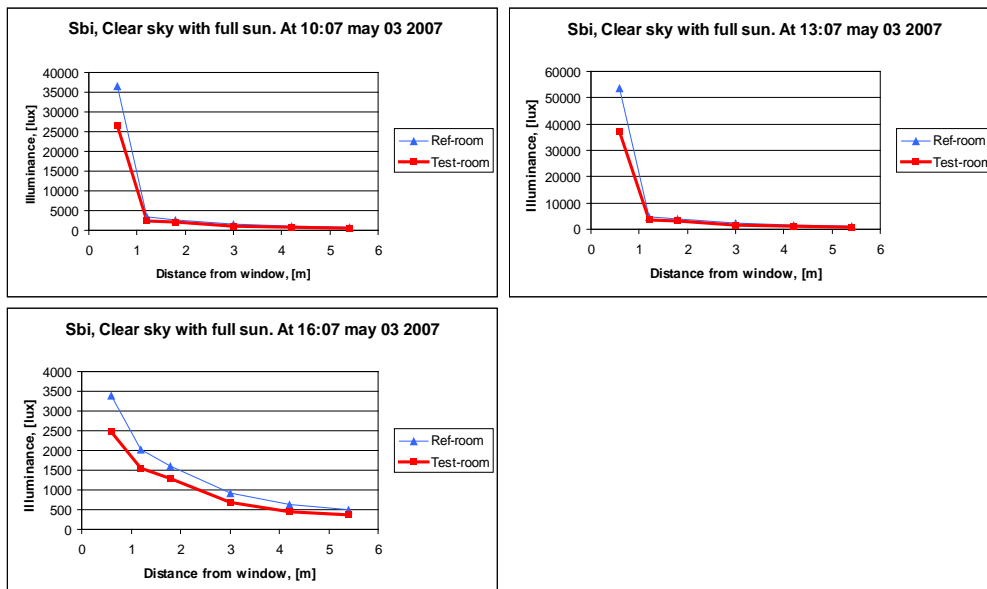
Figur 26. Case 2, DF på arbejdsplan.



Figur 27. Case 2, DF på loftplan.

5.2.3 Case 3

I case 3 sker der en reduktion af belysningsstyrken i arbejdsplanet (0,85 m over gulv) ind gennem rummet, se Figur 28. Reduktionen er størst ude ved vinduet og aftager gradvist. Bagest i rummet er belysningsstyrken størst i referencerummet, 889 lux mod 610 lux (formiddag) 1189 lux mod 842 lux (middag) og 512 lux mod 358 lux (eftermiddag). Ved at vinkle alle glaslameller lodret opnås således en permanent reduktion af belysningsstyrken både i de vinduesnære områder, hvor der i forvejen er mere end tilstrækkeligt med (sol)lys og i den bagerste del af rummet. Energimæssige konsekvenser i form af reduceret behov for køling og ventilation beregnes ud fra forsøg i Passys-celle.



Figur 28. Case 3, belysningsstyrker formiddag, middag og eftermiddag.

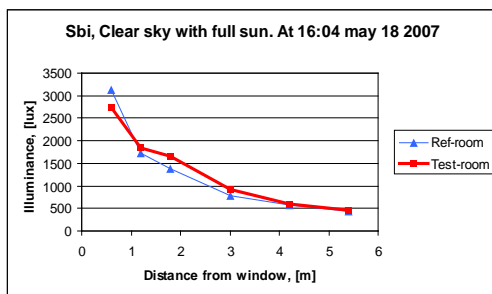
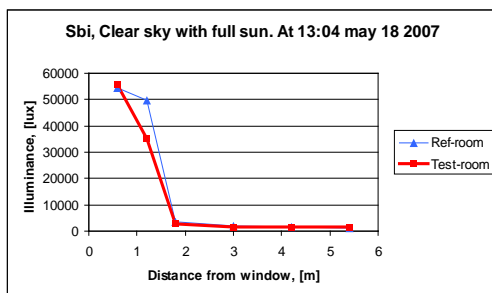
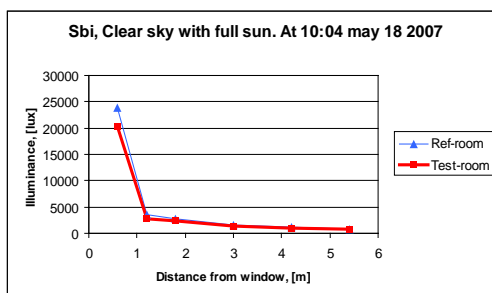
5.2.4 Case 4

I case 4 sker der en reduktion af belysningsstyrken i arbejdsplanet (0,85 m over gulv) ind gennem rummet om formiddagen, se Figur 29. Reduktionen er størst ude ved vinduet og aftager gradvist. Bagest i rummet er belysningsstyrken størst i referencerummet, 817 lux mod 711 lux. Ved at vinkle de to øverste lameller og stille de tre underste lameller lodret opnås således en reduktion af belysningsstyrken både i de vinduesnære områder, hvor der i forvejen er mere end tilstrækkeligt med (sol)lys og i den bagerste del af rummet.

I middagssituationen sker der stort set det samme, belysningsstyrken reduceres lidt ved vinduet i testrummet, men den stiger til gengæld bagest i rummet, 1685 lux i testrummet mod 1036 i referencerummet. At denne situation opstår kan skyldes vinklingen af de to øverste lameller sammenholdt med case 3. Knækket på kurven referencerummet (celle 2) skyldes udelukkende at målecellen rammes af direkte sol.

I eftermiddagssituationen er det kun helt ude ved vinduet at belysningsstyrken i testrummet bliver reduceret, i resten af testrummet ligger belysningsstyrken højere end i referencerummet, maksimalt 20%.

Energimæssige konsekvenser i form af reduceret behov for køling og ventilation beregnes ud fra forsøg i Passys-celle.



Figur 29. Case 4, belysningsstyrker formiddag, middag og eftermiddag.

Resultaterne af målingerne viser overordnet, at systemet virker efter hensigten. I overskyet vejr medfører lamellerne, sammenlignet med samme facade uden solafskærmning, at dagslysfaktoren reduceres tæt på facaden, hvor der i forvejen er rigeligt dagslys, og i den bageste del af rummet er dagslysfaktoren stort set uændret eller i nogle tilfælde en anelse højere. Dvs. der opnås en bedre fordeling af dagslyset inde i lokalet. I solskinsvejr reduceres belysningsstyrken som forventet i hele rummet, og det indikerer at det samlede solindfald også vil blive reduceret hvilket vil være til gavn for det termiske indeklima med reduceret behov for køling og ventilation til følge. Sidstnævnte skal undersøges nærmere bl.a. ved forsøg i Passys-testcelle på DTU.

Det udviklede solafskærmningssystem, reducerer således solindfaldet på traditionel vis, men uden at forringe dagslysforholdene, som det ellers er tilfældet for traditionelle lamelsystemer.

6 Sammenligning mellem dagslysmålinger og dagslysberegninger i IESve Radiance

Det følgende afsnit er gengivet fra et eksamensprojekt ved DTU Byg udført af Ines Santos.

6.1 The method

Radiance uses a ray-tracing method to generate virtual images of the scenes. In these images the daylight levels can be read. As shown in Figure 3.1, the rays are randomly send from the focus of a virtual eye and reflected on the surfaces until they intersect a light source or until the ray has reflected more than a specified number.

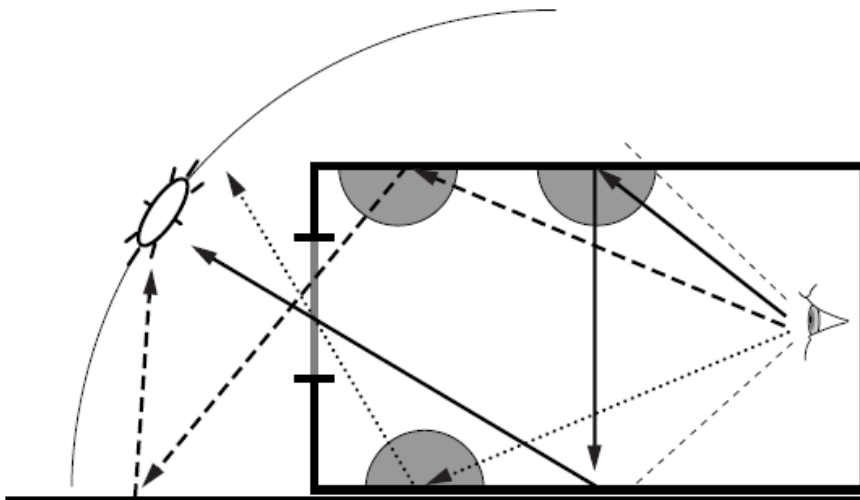


Figure 3.1 - Raytracing method used in *Radiance* [21]

6.2 The model

The model of the experimental rooms was built in IESve according to the description previously made of the experimental rooms (see Figure 3.2 and Figure 3.3). The landscape was simply modelled as a field of grass with a length of 20m, the distant row of trees towards south and the group of trees towards the south-west direction were neglected.

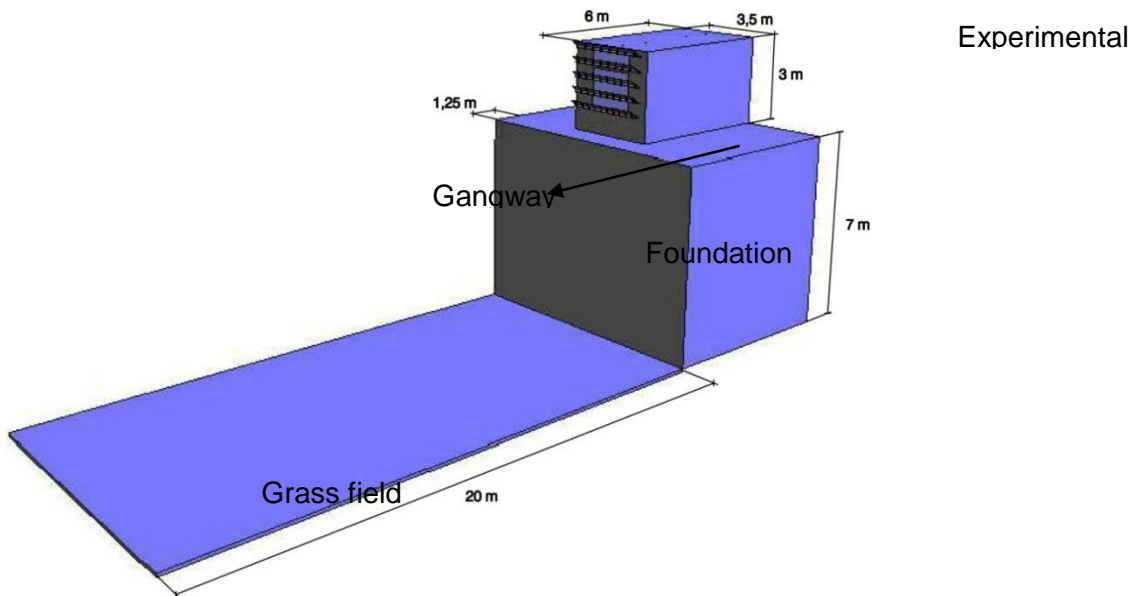


Figure 3.2 - Model of the experimental rooms built in IESve

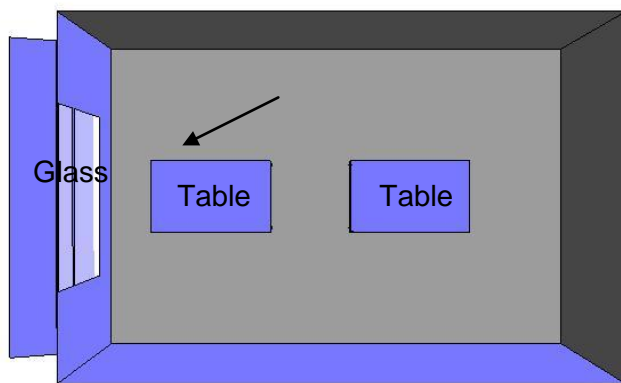


Figure 3.3 - Interior of the experimental rooms modelled in IESve

Auxiliary solids located in the measuring points were created to make possible the reading of the illuminance and daylight factor levels in the images generated by *IESve/Radiance*. These auxiliary solids are cylinders with a diameter of 0.04m and a height of 0.02m and they are represented in Figure 3.4. The reflectance of the measuring points was assumed to be 80% (the same reflectance of the tables).

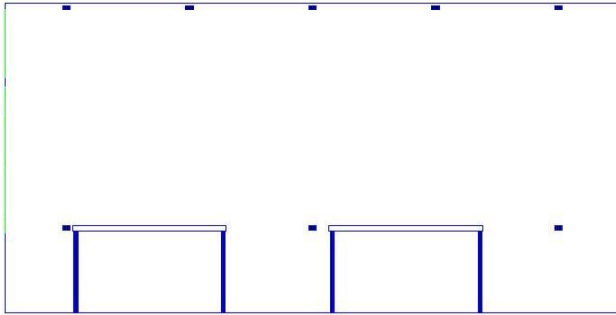


Figure 3.4 - Image of the model in *IESve* showing the auxiliary cylinders created in the measuring points positions

6.2.1 The surfaces properties

In *Radiance* there are different types of materials according to the way the surfaces perform when exposed to light: *plastic*, *metal*, *glass*, *dielectric* and *trans*. [20]

Excluding the windows glazings which were defined as *glass* and the glass lamellas which were defined as *trans*, all the other surfaces in the model were defined as *plastic*.

6.2.1.1 Plastic Material - All surfaces excluding glazings and glass lamellas

In *Radiance*, *plastic* defines opaque surfaces with uncoloured specular highlights. This type of material is defined by its red, green and blue (RGB) reflectance values and a value for specularity and roughness. The reflectance values vary between 0.0 and 1.0: (0.0,0.0,0.0) defines a black surface while (1.0,1.0,1.0) defines a white surface. The specularity is the amount of light reflected by specular (mirror-like, not diffuse) mechanism. Specularity also varies from 0.0 to 1.0, 0.0 defines a perfectly diffuse surface while 1.0 a perfect mirror. For *plastic* materials the specularity is usually in the range 0.0-0.07. The roughness refers to how the surface scatters the light is reflected, 0.0 corresponds to a perfectly smooth surface and a 1.0 would be a very rough surface. Roughness values above 0.2 are unusual. The roughness affects only the specular reflection.

In Table 3.1 are presented the RGB reflectances, specularity and roughness for the surfaces modelled as *plastic* material.

All the surfaces excluding the tables (whose appearance is slightly satin) were assumed to be perfectly diffuse. In this case the roughness value is not important once it refers to the specular reflection. The specularity of the tables was assumed to be 0.03 and the roughness was set to 0.00 once the tables are polished.

Table 3.1 - RGB reflectances, specularity and roughness for the surfaces modelled as *plastic* material

Element	R-refl	G-refl	B-refl	Spec	Rough
Inner walls	0.62	0.62	0.62	0.00	-
Floor	0.11	0.11	0.11	0.00	-

Ceiling	0.88	0.88	0.88	0.00	-
Tables	0.80	0.80	0.80	0.03	0.00
Tables legs	0.60	0.60	0.60	0.00	-
Measuring points	0.80	0.80	0.80	0.00	-
Horizontal metallic profiles of the glass lamellas	0.60	0.60	0.60	0.00	-
Gangway	0.60	0.60	0.60	0.00	-
Foundation wall	0.60	0.60	0.60	0.00	-
Grass (reflectance = 0.20)	0.00	0.3	0.00	0.00	-

6.2.1.2 Glass Material - Glazings

As it was stated before the glazings of the windows were modelled as *glass* which is a special case of *dielectric* material with a refraction index of 1.52. A *dielectric* material is transparent, and it refracts light as well as reflecting it.

The *glass* is represented by one single surface which avoids the computation of internal reflections.

The *glass* must be defined by the R, G and B transmissivity values. Transmissivity is the fraction of light not absorbed in one traversal of the material at normal incidence while the transmittance is the total light transmitted through the pane including multiple reflections. The visual transmittance value is the one given by manufactures (which is 72% for the double-pane glazing of the experimental rooms). The visual transmittance is converted in transmissivity through the following formula:

$$tn = \frac{\sqrt{0.8402528435 + 0.0072522239 Tn^2} - 0.9166530661}{0.003626119 Tn} \quad (3.1)$$

where Tn represents the transmittance and tn the transmissivity. For the glazing of the windows of the experimental rooms the transmissivity is then 0.785. All the components R, G and B are equal to 0.785 once the glazing is clear.

Table 3.2 - RGB transmissivities of the glazings of the experimental rooms

Element	R-tn	G-tn	B-tn
---------	------	------	------

Glazings	0.62	0.62	0.62
----------	------	------	------

6.2.1.3 Trans Material - Glass Lamellas

According to [20] the glass lamellas were modelled as *trans* material. *Trans* represents a transparent/translucent material type.

The *trans* materials are defined in *Radiance* by seven parameters: R-reflectance, G-reflectance, B-reflectance, specularity, roughness, transmissivity and transmitted specularity.

The way how *Radiance* handles the encountering of a surface of a *trans* material is described in Figure 3.5.

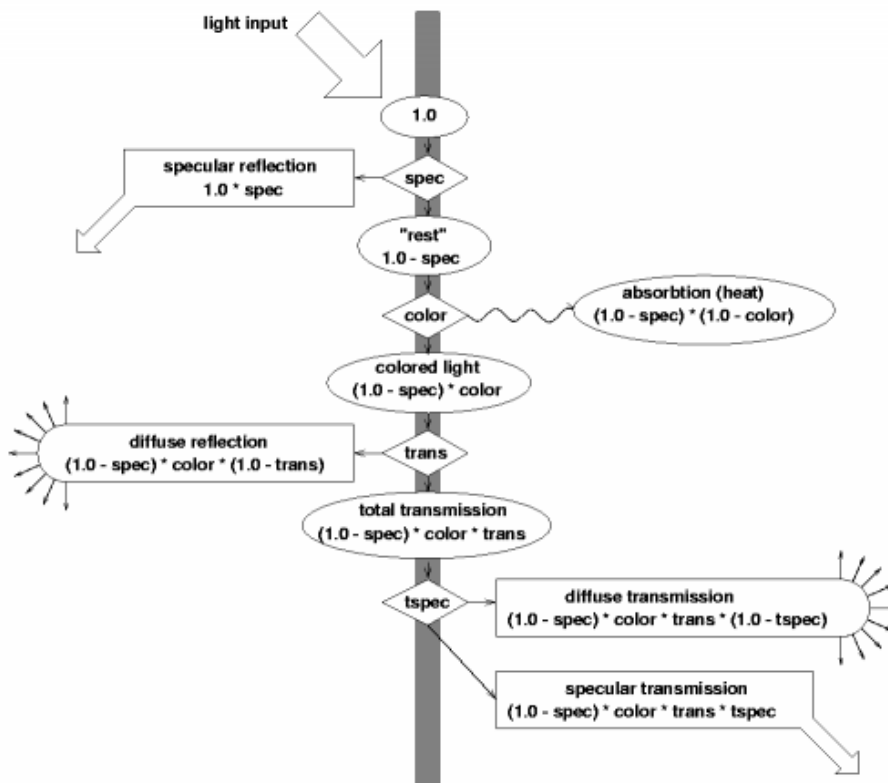


Figure 3.5 - Diagram of how *Radiance* simulations handle the encountering of a surface of a *trans* material [19]

Knowing the visual reflectance, ρ_v , and visual transmittance, τ_v , of the glass that composes the glass lamellas it is possible to calculate the seven parameters that characterize the *trans* material according to [20]. As stated before the lamellas are made of Antelio Silver glass from Saint Gobain. For this glass the visual transmittance, τ_v , is 66% while the visual reflectance, ρ_v , is 31%.

The specularity, *spec*, is the fraction of incident light that is immediately reflected in mirror and it is equal to the visual reflectance ($spec=0.31$).

The R-reflectance, G-reflectance and B-reflectance are the colour dependent reflectances. As Antelio Silver is a clear glazing these values are all equal and can be represented by RGB-reflectance. The RGB-reflectance may be calculated knowing the visual absorptance of the glass, α_v .

For Antelio Silver the light absorptance, α_v , is:

$$\alpha_v = 1 - 0.66 - 0.31 = 0.03 \quad (3.2)$$

According to Figure 3.4 the RGB-reflectance may be calculated through the following equation:

$$\alpha_v = (1 - spec)(1 - RGBrefl) \quad (3.3)$$

$$0.03 = (1 - 0.31)(1 - RGBrefl) \quad (3.4)$$

$$RGBrefl = 0.96 \quad (3.5)$$

The transmissivity, *transm*, is a factor describing how much of the remaining light is transmitted through the glass. Any remaining light will be reflected diffusely. The transmissivity is calculated by:

$$\tau_v = (1 - spec) \cdot RGBreflec \cdot transm \quad (3.6)$$

$$0.66 = (1 - 0.31) \cdot 0.96 \cdot transm \quad (3.7)$$

$$transm = 1.0 \quad (3.8)$$

The roughness, *rough*, is 0.0 for glass once it has a smooth surface.

The transmitted specularity, *tr-spec*, is an index describing the distribution of the transmitted light that is not diffusely scattered. It is 1.0 for a clear glass.

In Table 3.3 it is presented the *IESve/Radiance* inputs for the Antelio Silver glass lamellas defined as *trans* material.

Table 3.3 - *IESve/Radiance* inputs for Antelio Silver glass lamellas defined as *trans* material

Element	R-refl	G-refl	B-refl	Spec	Rough	Transm	Tr-spec
---------	--------	--------	--------	------	-------	--------	---------

Antelio Silver Glass Lamellas	0.96	0.96	0.96	0.31	0.0	1.0	1.0
-------------------------------------	------	------	------	------	-----	-----	-----

6.2.2 The Sky / Date / Time

For Case 1 and Case 2 the *CIE overcast sky* was chosen for the simulations. The simulations were performed for the 21st of December at 12.00. However the chosen date and time have no influence because the daylight level in the different measuring points was evaluated by the daylight factor.

6.2.3 Image quality

The rendering options are a group of different parameters that can be adjusted to guarantee the accuracy of the image generated by *IESve/Radiance*. The optimal rendering option settings are the ones that provide the highest possible accuracy in an acceptable rendering time. More information about the rendering options is available in [17] and [19].

For the *IESve/Radiance* simulations performed in this project the rendering options set are presented in Figure 3.6.

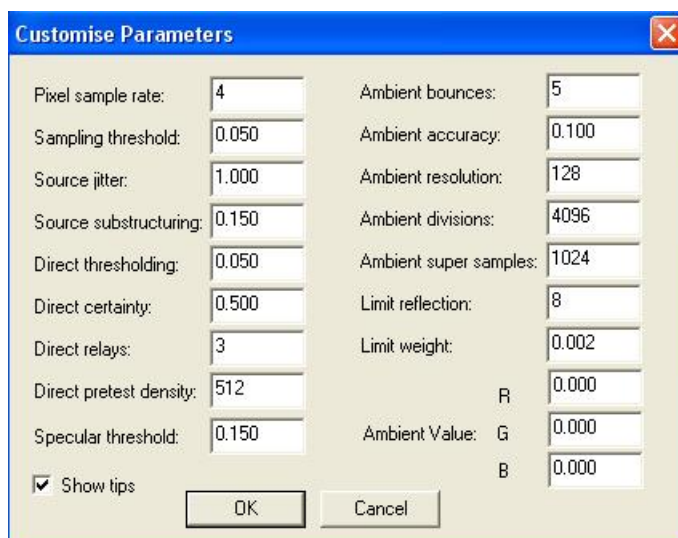


Figure 3.6 - Rendering options set for the *IESve/Radiance* simulations performed for the experimental rooms of the Daylight Laboratory at SBi

6.3 Results and comparison with the measurements

In this chapter the results from the measurements performed in the experimental rooms of the Daylight Laboratory at SBi, as well as the correspondent results from the *IESve/Radiance* simulations are presented for the two cases described before. In this chapter only the most relevant results will be presented, however all the results are available in APPENDIX K.

In Table 4.1 the SBI measurements and *IESve/Radiance* results for the daylight level at the working plane (height=0.85m) are presented for the reference room (without glass lamellas) under overcast sky. The daylight levels are presented as daylight factors, DL factor [%].

For the measurements also the standard deviation, Stdev, is presented.

In the last column of the table it is presented the relative difference, [%], between the results from the *IESve/Radiance* simulations and the measurements. The relative difference, RD, was calculated in the following way:

$$RD = \frac{DLfactor_{IESve / Radiance} - DLfactor_{Measurement}}{DLfactor_{Measurement}} \quad (4.1)$$

Table 4.1 - Daylight factors at the working plane for the reference room for Case 1: measurements and *IESve/Radiance* simulations

Distance from window (m)	Measurements		IESve/Radiance	Relative Difference [%]
[m]	DL factor [%]	Stdev	DL factor [%]	
0.6	17.5	4.03	18.6	6.3
1.2	9.8	2.34	10.3	5.1
1.8	6.8	1.82	6.1	-10.3
3.0	3.1	1.13	2.6	-16.1
4.2	2.1	0.89	1.4	-33.3
5.4	1.5	0.73	1.0	-33.3

The results from *IESve/Radiance* are relatively close to the measurements especially near the window. Near the back wall the results from the simulations are around 30% lower than the measurements. However, despite this difference, Figure 4.1 shows that all the results from the simulations are inside the ranges defined by the standard deviations of the measurements.

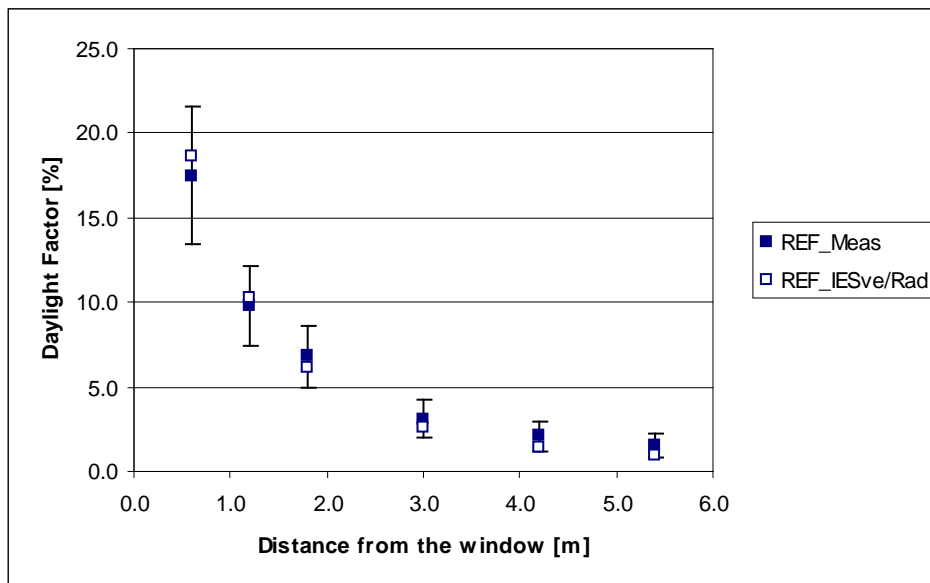


Figure 4.1 - Measured and simulated daylight factors for the working plane in the reference room for

Indeed, since the distant row of trees in the horizon was not modelled, it would be expected higher daylight levels from the simulations than from the measurements, especially in the back part of the room. The mentioned row of trees obstructs the lower part of the sky reducing the incident light in the back of the room. However this phenomenon is not visible when comparing the results with the simulations.

While the part of the room near the window receives mainly directly light from the sky and from outside reflections, most of the light arriving to the back part of the room is a result of consecutive reflections on the different surfaces of the room (see Figure 4.1). For this reason, if the *Radiance* rendering options are not correctly set when performing simulations the results can be not accurate especially at the back part of the room. However different rendering options were tested (including the number of bounces which was increased from 5 to 8) and no better results were achieved.

Another reason for lower daylight factors in the back part of the room when comparing simulations with measurements could be a sub-estimation of the reflectances of the inner surfaces of the room. As described before most part of the light reaching the back of the room is due to reflections. If the reflectances of the inner surfaces are not correctly modelled, the daylight factor at the back part of the room can be influenced. To evaluate this influence, a simulation was performed increasing 5% the reflectance of the following surfaces: inner walls, floor, ceiling and tables. In Table 4.2 the new reflectances are presented. The results are presented in Table 4.3. The relative difference in the back part of the room decreased from around 30% to 20% which is significant but still cannot explain all the difference between simulations and measurements.

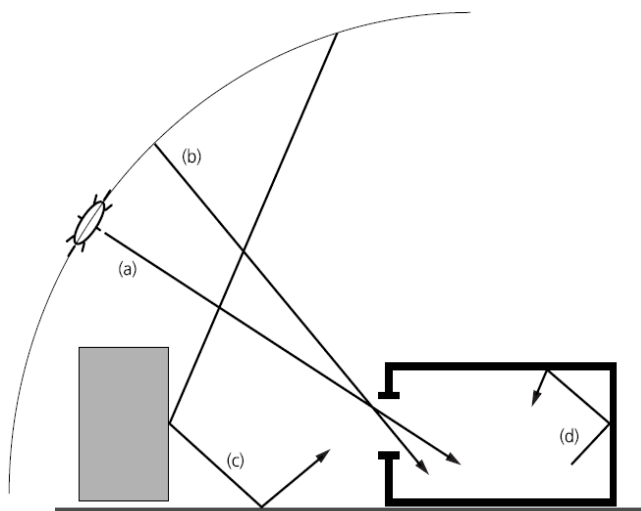


Figure 4.1 - Components of daylight: (a) direct sun, (b) direct sky, (c) externally reflected, and (d) internally reflected [21]

Table 4.2 - Reflectances defined in the *IESve/Radiance* model and new reflectances used to evaluate the influence of the internal surfaces reflectances in the daylight factor in the back part of the room

Element	Reflectances defined in the model	New reflectances
Inner walls	0.62	0.67
Floor	0.11	0.16
Ceiling	0.88	0.93
Tables	0.80	0.85

Table 4.3 - Daylight factors at the working plane in the reference room for Case 1. Results obtained from *IESve/Radiance* simulations when increasing 5% the reflectance of the internal surfaces

IESve/Radiance	Relative Difference [%]
DL factor [%]	
18.4	5.1
10.6	8.2
6.4	-5.9
2.9	-6.5
1.6	-23.8
1.2	-20.0

Another reason for different *IESve/Radiance* results and measurements may be the sky. The real overcast sky is never equal to the CIE overcast sky defined by the standards and used for daylight simulations.

6.3.1 Case 1 – upper lamellas in tilt -30

In Table 4.5 the SBI measurements and *IESve/Radiance* results for the daylight factor, DL factor [%], at the working plane (height=0.85m) are presented for the test room (room with glass lamellas) for Case 1.

Table 4.5 - Daylight factors at the working plane for the test room for Case 1: measurements and *IESve/Radiance* simulations

Distance from window (m)	Measurements		IESve/Radiance	Relative Difference [%]
[m]	DL factor [%]	Stdev	DL factor [%]	
0.6	12.2	3.36	10.3	-15.6
1.2	7.8	2.08	7.5	-3.8
1.8	6.1	1.78	5.2	-14.8
3.0	3.0	1.04	2.6	-13.3
4.2	1.9	0.76	1.4	-26.3
5.4	1.5	0.65	1.0	-33.3

In Figure 4.3 it is possible to see that once again the results from *IESve/Radiance* simulations are inside the range defined by the measurements and correspondent standard deviations.

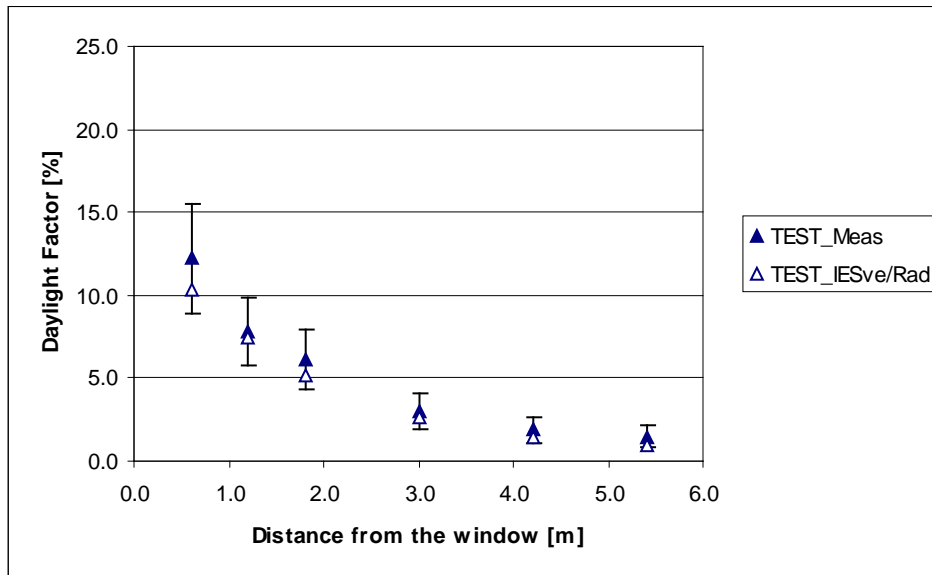


Figure 4.3 - Measured and simulated daylight factors for the working plane in the test room for

Table 4.5 and Figure 4.3 show that for the test room the daylight factors obtained with *IESve/Radiance* simulations are lower than the measurements. This would be expected since the daylight factors for the reference room were already lower for simulations than for the measurements.

The important thing is that the performance of the glass lamellas is similar when comparing measurements with *IESve/Radiance* simulations. Both for the measurements and simulations the glass lamellas decreased the daylight factor at the working plane close to the window. Also for both cases (measurements and simulations) the daylight factor at the working plane in the back of the room is the same with or without lamellas. This is one of the advantages of the glass lamellas systems, they allow homogenising the daylight factor along the depth of the room. (see Figure 4.6)

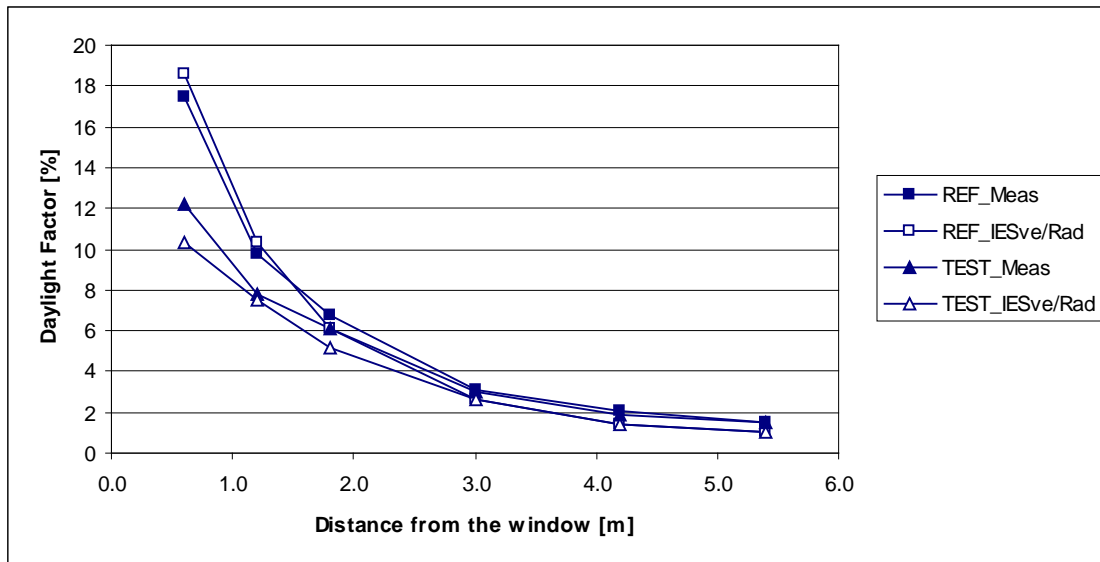


Figure 4.3 - Measured and simulated daylight factors for the working plane for Case 1 for both reference and test room

6.3.2 Case 2 – lamellas in tilt -30

Case 2 is similar to Case 1, only the orientation of the lamellas is different: they are all tilted to the 30° position. The relation between the measurements and *IESve/Radiance* simulations is also similar to Case 1 and the comments made before are also valid for this case. The results for Case 2 are only briefly presented for the working plane as graphs in Figures 4.4, 4.5, 4.6 and 4.7. The complete results are available in APPENDIX K.2.

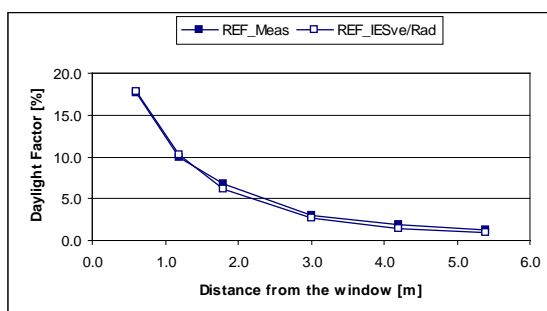


Figure 4.4 - Measurements and simulations at the working plane for the reference room

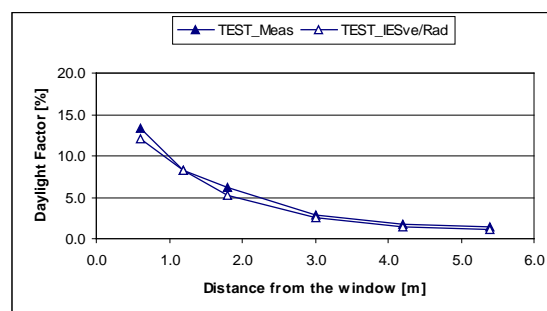


Figure 4.5 - Measurements and simulations at the working plane for the test room

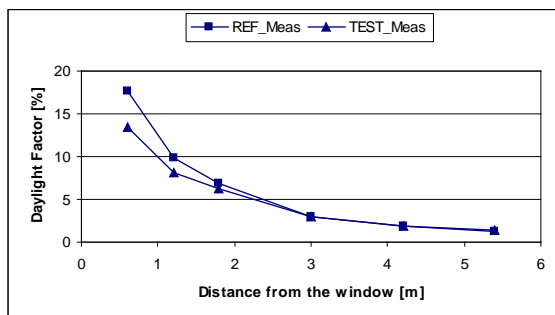


Figure 4.6 - Measurements at the working plane for both reference and test rooms

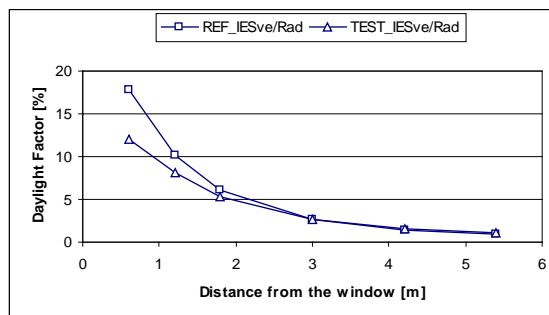


Figure 4.7 - Simulations at the working plane for both reference and test rooms

Figures 4.4 and 4.5 show that once again the daylight factors obtained from *IESve/Radiance* simulations are slightly lower than the ones measured, especially in the back part of the room.

Figures 4.6 and 4.7 show that according to both measurements and simulations the glass lamellas allow the homogenization of daylight factor inside the room reducing it near the window. Close to the back wall both measurements and simulations registered an increase of 0.1% in daylight factor at 5.4m from the window: this improvement is not perceptible in the Figures 4.6 and 4.7 but it is visible in Tables K.5 and K.6 from APPENDIX K.2.

6.3.2.1 Case 3 – Direct Sun

I rapporten beskriver Ines Santos desuden, at der er problemer med at simulere glaslamellerne i *IESveRadinace* ved direkte sol, hvilket skyldes begrænsninger i de input data man som bruger kan indtaste i programmet. Ved i stedet at anvende den fulde version af *Radiance*, er det muligt at tage højde for de direkte refleksioner, der opstår i lamellerne. Nedenfor følger konklusionen fra Ines Rapport:

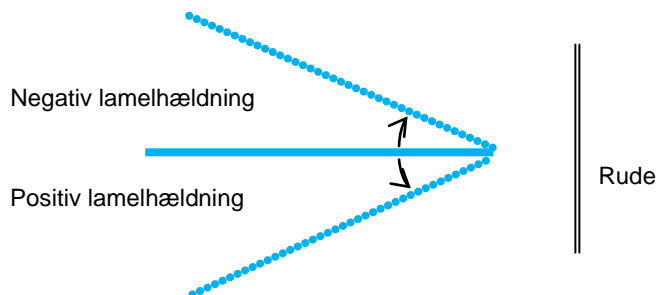
According to [15], when modelling rooms in *IESveRadiance* in which the windows have complex shading systems (as slat systems) usual simulations do not give accurate results, especially for sunny days in which the amount of light coming into the room is larger and concentrated in one direction. Most of the light coming through the window from the sun and sky is interreflected by or transmitted through the shading device before coming into the room. In this way, very high accuracy in the indirect calculation options settings is necessary to properly sample and represent the distribution of light coming from the window. This very high accuracy is extremely time consuming and may be not enough.

In the original version of *Radiance* there is a special algorithm “mkillum” that is able to transform surfaces in the room into light sources. In this way, the process can be separated into two parts: first the window is transformed into a light emitter taking into account the light from sun and sky and the effect of the glass lamellas; and after the daylight simulation inside the room is performed without taking into account the exterior environment but only the window as the light emitter [15]. Detailed information about this *Radiance* feature is available in [15] and [21].

This method is much more effective but is not available in *IESve/Radiance*. This can be the reason for the non accordance between simulations and measurements for a sunny sky regarding the effect of the opened glass lamellas in the back part of the room.

7 Avancerede dagslysberegninger i Radiance

Der er foretaget beregninger på en model af glaslamellerne monteret på SBI's dagslyslaboratorium i den fulde version af Radiance. Beregningerne er foretaget ved CIE overskyet himmel og direkte sol. Der er foretaget beregninger ved forskellige lamelhældninger, -90, -75, -60, -45, -30, -15, 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, grader i overskyet vejr. I direkte sol er der beregnet for lamelhældning på 90 grader og profilvinkler, 2, 14, 30, 45, 60 og 87. Definitionen af lamelhældningen ses på nedenstående figur.



7.1 Metode

I Radiance er der opbygget en model af SBI's dagslyslaboratorium, med de samme parametre som givet i IESve/Radiance-modellen beskrevet i afsnit 6.2. Resultaterne er for en facadeudformning svarende til SBI's dagslyslaboratorium. Resultaterne vil således være anvendelige for facadeudformninger, der svarer til dagslyslaboratoriets.

7.1.1 Opbygning af glaslameller i Radiance

Glaslamellerne er opbygget vha. funktionen BRTDfunc i Radiance. Simuleres med BRTD-data kan der tages højde for den vinkelafhængige sammenhæng mellem transmittans og reflektans som funktion af solens indfaldsvinkel på lamellerne.

BTDF-data for ruden fås fra Optics5 og eksporteres til et Radiance format. Herefter transformeres Radiance beskrivelsen fra Optics5 til vinkelafhængige værdier vha glaze scriptet i Radiance. Beskrivelsen af lamellerne vha BTDF-data er gengivet nedenfor.

```
# Glazing produced by Radiance glaze script
# $Revision: 2.7 $
# Material surface normal points to interior
# Number of panes in system: 1
# Exterior surface s1 type: clear glass
# Interior surface s2 type: anteliosilver
# Exterior normal hemispherical reflectance: 0.3115
# Interior normal hemispherical reflectance: 0.29254
# Normal hemispherical transmittance: 0.65596
#

void BRTDfunc BTDFNAME
10
    sr_clear_r sr_clear_g sr_clear_b
    st_clear_r st_clear_g st_clear_b
```

```

0 0 0
glaze1.cal
0
19
0 0 0
0 0 0
0 0 0
-1
0.267 0.321 0.395
0.240 0.306 0.368
0.678 0.655 0.576

```

Mkillum funktionen i Radiance kan benytte BRTD-data, hvorfor denne benyttes i simuleringerne.

Der er udvalgt specifikke tidspunkter på året med den ønskede profilvinkel. Tidspunkterne og profilvinklen er gengivet i tabellen nedenfor:

Tabel 5: Profilvinkler benyttet i Radiance simuleringerne, bestemt ud fra specifik tid på året

<i>Dag</i>	<i>Måned</i>	<i>Tid</i>	<i>Profilvinkel</i>
21	12	9	2,3
21	11	12	13,9
21	3	15	30,0
21	8	12	45,1
21	6	10	60,8
21	6	8	75,2
21	6	17.43	87

Belysningsstyrke på arbejdsplan og øjenhøjde

Belysningsstyrker måles midt i rummet i afstanden 0.6, 1.2, 1.8, 2.4, 3.0, 3.6, 4.2, 4.8 og 5.4 m fra facaden 0.85 m over gulv samt i højden 1.25 m over gulv, med orientering mod vinduet.

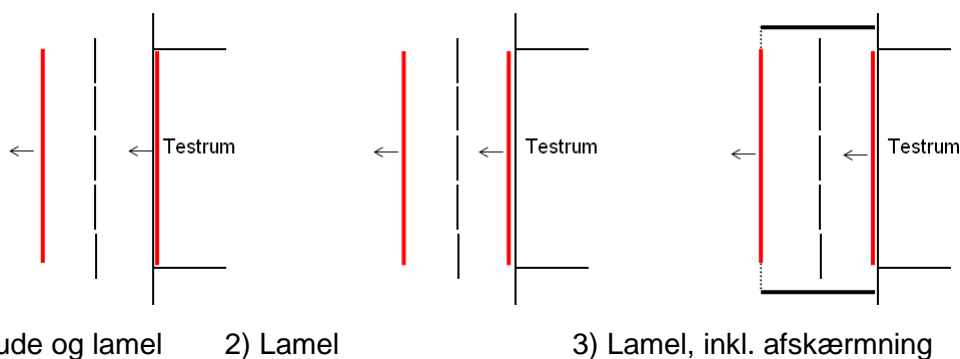
Resultater

Resultaterne af den fulde version i Radiance gennemgås i det følgende, ved først at se på resultaterne ved overskyet himmel, og sammenligne med de tidligere beregninger og målinger, for derefter at se på resultaterne ved direkte sol.

Lystransmittans for lamelsystem

Det er undersøgt om beregninger i Radiance vil kunne bestemme en lystransmittans for glaslamellerne. Der er lavet 200 målepunkter i hele lamellernes højde (2m) foran og bagved lamellerne.

Lystransmittansen er bestemt for 3 forskellige situationer; 1) system bestående af rude og lamel, 2) system bestående af lamel, 3) systembestående af lamel, med afskærmning af siderne, for at undgå at direkte lys kommer gennem ruden.



7.1.1.1

1) Rude og lamel

2) Lamel

3) Lamel, inkl. afskærmning

Figur 30: Placering af sensorpunkterne i Radiance (røde linje) til beregning af lystransmittansen i de 3 situationer.

Solenergitransmittans for lamelsystem

Radiance kan ikke regne solenergitransmittanser ud, da programmet kun ser på en optisk ray-tracing beregning, og ikke inkluderer termisk ledning og konvektion. Mellemrummet mellem lamellerne er stort og ventileret, hvilket betyder at størstedelen af den absorberede solenergi i lamellerne, der senere afgives til omgivelserne og ruden, ventileres bort. Det antages derfor at solenergitransmittansen opfører sig som det synlige lys. Dermed vil solenergitransmittansen for lamelsystemet være det samme som lystransmittansen. Den samlede g-værdi for systemet bliver så en kombination af rudens og lamelsystemets g-værdi.

Det undersøges hvor stor en effekt varmeudvekslingen har mellem lameller og bagvedliggende rude, når lamellerne er placeret parallel med facaden, lamelhældning 90 grader. Denne placering af lamellerne, parallelt med ruden, repræsenterer "worst-case" scenariet, i og med at der her er mindst mulig ventilation.

Undersøgelse foretages i WIS. Der undersøges både for ventileret hulrum og ikke-ventileret hulrum. Den samlede solenergitransmittans bestemmes for systemet. Systemet er opbygget med følgende 5 lag, hvor lag 1 er laget der vender mod omgivelserne.

1. Antelio Silver rude
2. Mellemrum på 0.5m med luft
3. Klar rude rude, 4mm
4. Mellemrum på 0.015m med argon
5. Optitherm SN6 rude

Lag 2 er ventileret og ikke ventileret.

I WIS har det kun været muligt at regne med luftspalter i top og bund af ruden, men i realiteten vil der også ventileres fra siderne af ruden, hvorfor ventilationen kan forventes at have en endnu større indflydelse, og dermed minimere varmeoverføringen ved konvektion og stråling yderligere. Det vurderes derfor at det til dette formål er muligt at bestemme en tilnærmet solenergi transmittans for lamellerne ud fra lystransmittansen.

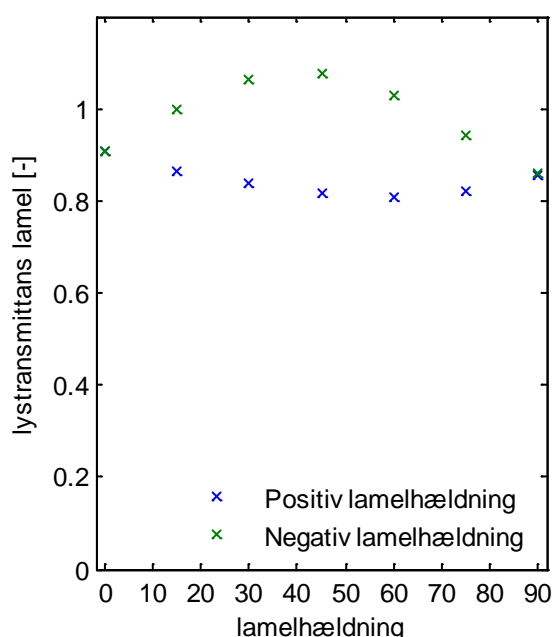
Tabel 6: Bidrag til solenergitransmittansen for Antelio Silver rude + 2-lagsrude energirude, hvor hulrummet mellem Antelio Silver og energirude er hhv ventileret og ikke-ventileret.

	<i>Ventileret hulrum</i>	<i>Ikke-ventileret hulrum</i>
Direkte sol-transmittans	0,288	0,288
Konvektion	0,0262	0,0351
Stråling	0,0414	0,0562
Total sol energitransmittans	0,355	0,379

Den totale solenergitransmittans for ruden og lamelsystemet, bestemmes ved at gange solenergitransmittans for lamelsystemet med solenergitransmittansen for ruden. Det skal her bemærkes at denne beregning er en tilnærmelse, og en egentlig beregning af solenergitransmittansen for dette komplekse lamelsystem bør beregnes vha. et goniospektrofotometer, eller beregnes i programmer der inkluderer termisk ledning og konvektion. Dette har ikke været muligt i nærværende projekt.

Overskyet vejr – lystransmittans

Lystransmittansen for systemet er gengivet på nedenstående figurer.



Figur 31: Lystransmittans for lamel ved CIE overskyet himmel med hhv positiv og negativ lamelhældning

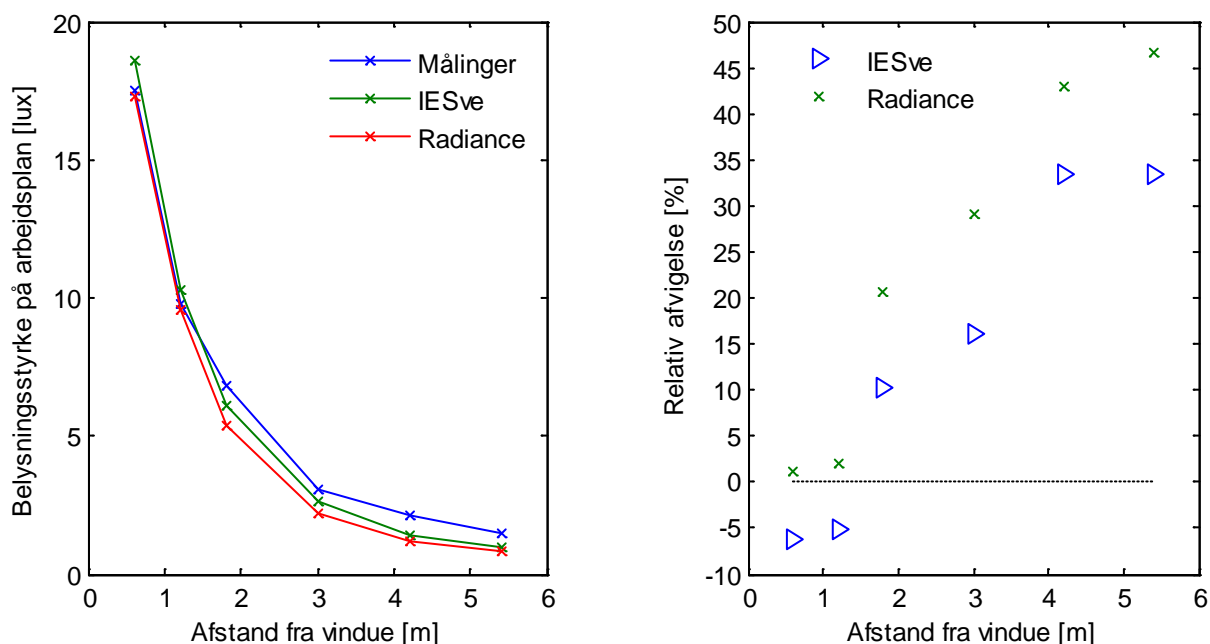
Af Figur 31 ses det, at lystransmittansen stiger ved lamelhældning på -30 grader.

En tabel med de beregnede lystransmittanser for lamelsystemet ses i afsnit XX

Overskyet vejr - Reduktion i dagslysfaktor

Belysningsstyrkerne i planet er gengivet i tabeller, der viser belysningsstyrken som funktion af afstand fra vindue og lamelhældning. Figur 32 viser resultater for målinger i dagslyslaboratoriet, simulering i IESveRadiance og simulering i den fulde version af Radiance i referencesituationen, hvor der ingen lameller er foran vinduet. Den relative afvigelse er bestemt som

$$\text{Relativ afvigelse} = \frac{E_{\text{Radiance}} - E_{\text{Målinger el IESve/Radiance}}}{E_{\text{Målinger el IESve/Radiance}}} \cdot 100\%.$$



Figur 32: Sammenligning mellem målinger og beregninger i IESve Radiance og den fulde version af Radiance

Den relative afvigelse mellem målinger og Radiance ligger mellem 6 og 50 %. Afvigelsen kan både skyldes, at himmelens lysdistribution, omgivelserne, og de interne overflader i rummet ikke er gengivet præcist nok i modellen i forhold til de aktuelle forhold under målinger. Beregningerne i nærværende afsnit skal vurderes relativt, så det har ingen indflydelse på resultaterne her, eller anvendelsen af resultaterne her, at afvigelsen er forholdsvis stor. Normalt vil man forvente afvigelser mellem Radiance simuleringer og målinger på under 30% [Reinhart, 2001].

Tabel 7 er gengivet reduktionsfaktoren for belysningsniveauet ved forskellige lamelhældninger og forskellig afstand fra vinduet. Reduktionsfaktoren er bestemt som

$$\text{Reduktionsfaktor} = 1 - \frac{E_{\text{Reference}} - E_{\text{lamelhældning}}}{E_{\text{Reference}}}.$$

Tabel 7: Lamelafskærmningens reduktionsfaktor som funktion af afstand fra vindue, ved overskyet vejr

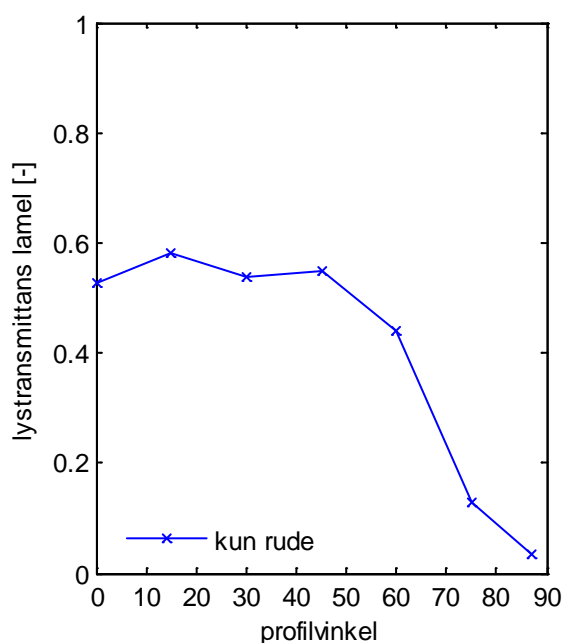
Reduktionsfaktor Overskyet vejr													
	lamelhældning [°]												
afstand [m]	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90

0.6	0.78	0.94	1.01	1.02	0.95	0.85	0.79	0.78	0.70	0.66	0.66	0.71	0.78
1.2	0.79	0.91	1.01	1.05	1.05	0.98	0.88	0.83	0.79	0.73	0.71	0.73	0.79
1.8	0.80	0.92	1.02	1.08	1.08	1.03	0.94	0.87	0.83	0.76	0.73	0.74	0.80
2.4	0.80	0.90	1.06	1.12	1.13	1.07	0.96	0.88	0.86	0.78	0.75	0.74	0.80
3	0.79	0.90	1.07	1.14	1.16	1.09	0.98	0.86	0.87	0.79	0.74	0.73	0.79
3.6	0.77	0.92	1.07	1.19	1.19	1.15	1.02	0.89	0.86	0.80	0.74	0.73	0.78
4.2	0.74	0.89	1.06	1.16	1.17	1.12	0.98	0.86	0.84	0.79	0.73	0.69	0.74
4.8	0.77	0.87	1.09	1.22	1.22	1.16	1.03	0.88	0.86	0.79	0.72	0.73	0.73
5.4	0.76	0.91	1.07	1.19	1.22	1.14	1.00	0.87	0.85	0.82	0.73	0.70	0.72

Af tabellen ses det, at lysniveauet bagerst i rummet 5m fra facaden er øget med ca 20% bagest i rummet ved lamelhældning på -30 og -45 grader, mens at lysniveauet er nærmest uændret ved lamelhældning på -15 og -60 grader. Dvs. konklusionen for simuleringer foretaget med den fulde version af Radiance er, at der kommer mere lys ind i rummet end ved simuleringerne i IESve Radiance. I overskyet vejr er den mest optimale position af glaslamellerne, når disse har en hældning mellem -30 og -45 grader.

7.1.2 Direkte sol – lystransmittans

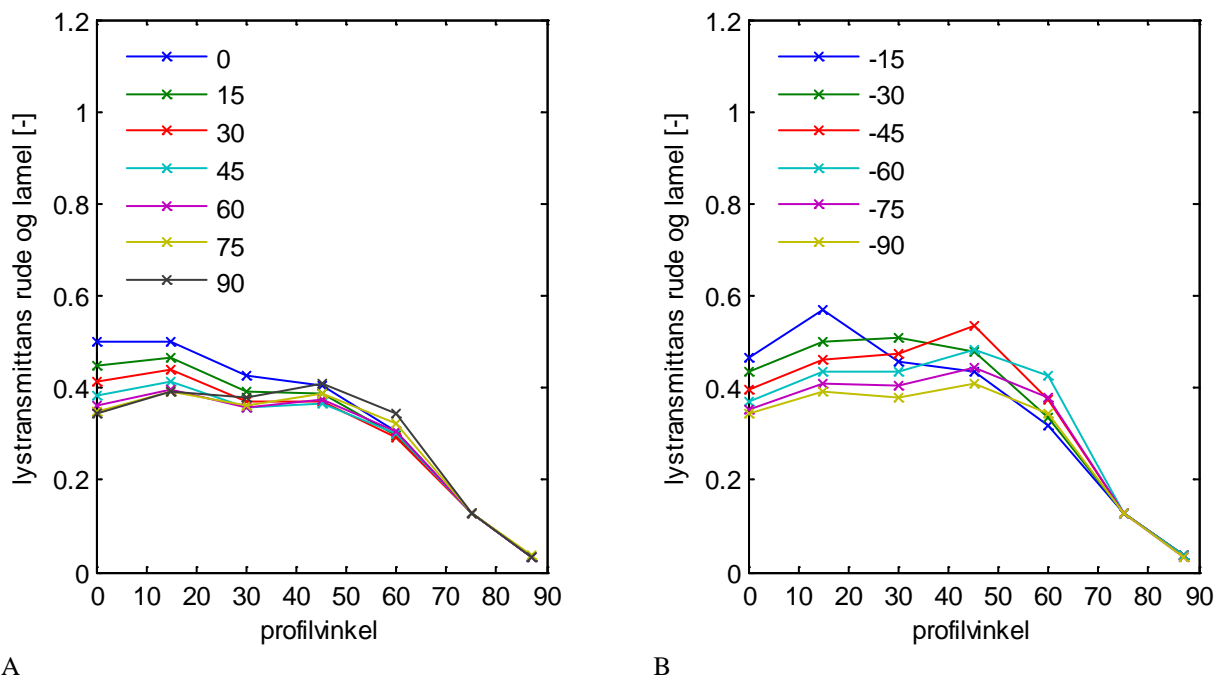
Som reference vises først lystransmittansen for ruden alene, Figur 33, for de forskellige profilvinkler givet i Tabel 5.



Figur 33: Lystransmittans for ruden alene for forskellige profilvinkler bestemt i Radiance

Lystransmittanserne bestemt i de næste afsnit skal alle vurderes i forhold til rudens lystransmittans.

7.1.2.1 Lystransmittans rude og lamel



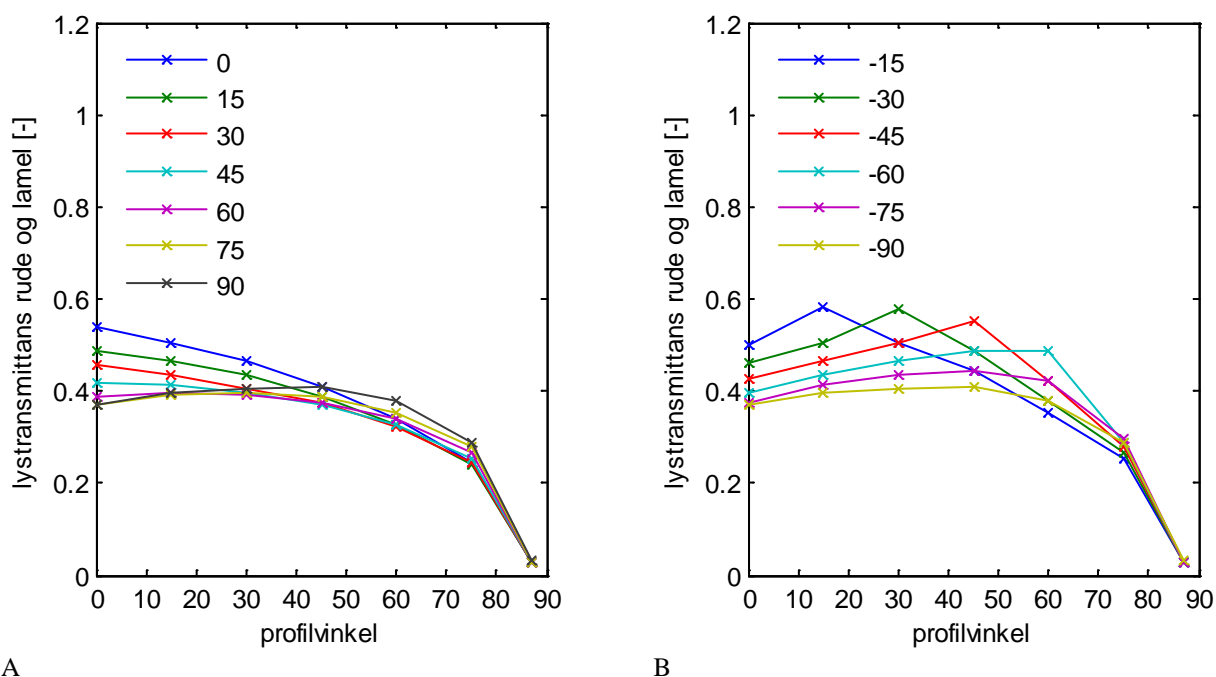
Figur 34: Lystransmittans bestemt for system bestående af rude og lamel for forskellige lamelhældninger ved forskellige profilvinkler. A) viser positive lamelhældninger, mens B) viser negative lamelhældninger.

Den mest solafskærmende effekt fra lamelsystem og rude opnås når lystransmittansen er mindst. Resultaterne viser, at for profilvinkler over 15 grader, er det ikke længere en lamelhældning på 90 grader der er den mest solafskærmende, se Figur 34 A. Dette ses endnu tydeligere på Figur 35 A, hvor lystransmittansen er bestemt ud fra indfaldsvinkel vinkelret på ruden. En højere solafskærmende effekt kan opnås ved at kontrollere lamellerne således at den største andel af det direkte lys, der ville komme gennem ruden fra mellemrummet mellem lamel og rude reduceres. Dette gøres ved at sørge for at lamellerne er placeret vinkelret i forhold til profilvinklen.

Ved at sammenligne af Figur 34 A med Figur 38 A ses effekten af at inkludere afskærmning mellem lamel og rude i simuleringerne. Afskærmes for det direkte lys i top og sider af lamelsystemet, reduceres lystransmittansen.

Af Figur 34 B ses det, ikke overraskende, at lystransmittansen er højest når profilvinkel og lamelhældningen for lystransmittansen har samme retning, f.eks. profilvinkel 14 og lamelhældning -15. Ved denne position er det kun tykkelsen af lamellen, der udgør solafskærmningen foran ruden, og lystransmittansen vi kan aflæse på grafen, svarer ca. til rudens lystansmittans. På Figur 37 ses denne sammenhæng endnu tydeligere, idet der her kun er afbilledet lystransmittansen for lamelsystemet. Her ses en lystransmittans på ca. 1, i denne situation.

I databladene fra producenterne er lystransmittansen typisk regnet ud fra en indfaldsvinkel, der er vinkelret på fladen. Derfor er lystransmittansen til sammenligning også bestemt for denne indfaldsvinkel.



A B
Figur 35: Lystransmittans for rude og lamel bestemt ud fra profilvinkel vinkelret på ruden

Forskellen på de 2 beregningsmetoder som vist i Figur 34 og Figur 35 er gengivet som den relative forskel [%] på Figur 36. Forskellen er bestemt som den relative forskel mellem lystransmittansen bestemt ud fra normal indfaldsvinkel og profilvinklen bestemt ud fra et specifikt tidspunkt på året;

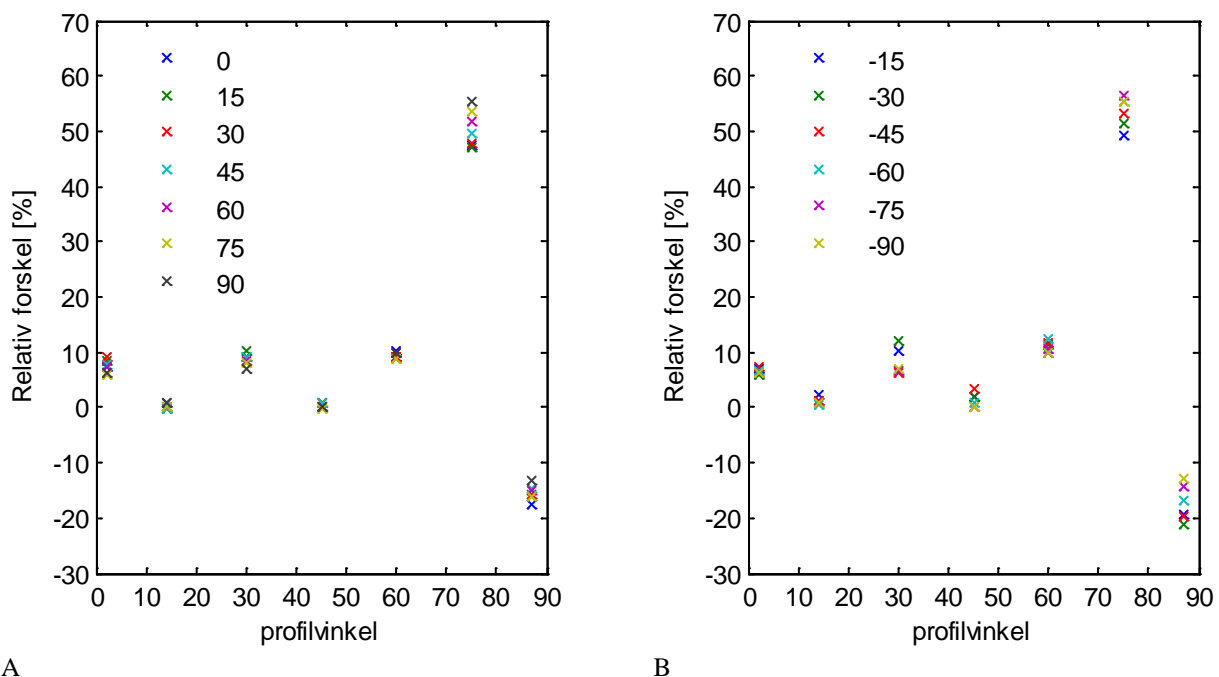
$$Relative\ forskel = \frac{E_{normal} - E_{specifik\ tidspunkt}}{E_{normal}} \cdot 100\%.$$

Profilvinkel 14 og 45 er bestemt som tidspunktet kl 12 henholdsvis i januar/nov og april/august måned. Her står solen vinkelret på facaden og den relative forskel på de 2 metoder er mindst på disse tidspunkter. Profilvinklen 2 og 75 er bestemt for tidspunkterne kl 9 og kl 8 i december og juni, mens profilvinklen 30 og 87 er bestemt kl 15 og 17.43 i marts/september og juni måned. I disse situationer er azimuth (syd=180) hhv. 139, 101, 230,5 og ca. 280, se tabel, og lyset vil derfor komme igennem glaslamelsystemet fra forskellig retning.

Tabel 8, Profilvinkel, Dato og tid, samt Azimuth for udvalgte tidspunkter af året i Danmark for en facade med orientering mod syd

Profilvinkel[°]	Dato og tid	Azimuth[°]
2	21/12 kl 9.00	139
30	21/3 kl 15.00	230,5
75	21/6 kl 8.00	101
87	21/6 kl 17:43	280

Det ses, se Figur 36, at retningen af lyset har en indflydelse på lystransmittansen. De største afvigelser opnås ved profilvinkler på 75 og 87. Danmark har vi profilvinkler på 75, og 87 enten meget tidligt eller meget sent på dagen. Vi vil aldrig have situationer hvor disse profilvinkler opstår ud fra lysretning vinkelret på en sydvendt facade. Det vurderes derfor at beregningerne foretaget her er repræsentative for brug af systemet i Danmark.

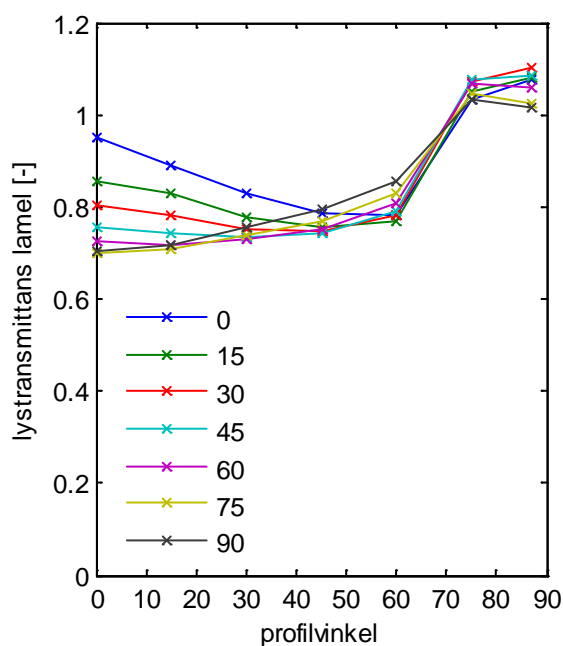


Figur 36: Relativ forskel ved lamelhældninger fra A) 0 til 90 og B) -15 til -90 mellem lystransmittans bestemt ud fra indfaldsvinkel vinkelret på ruden og lystransmittans bestemt ud fra profilvinklen bestemt for et specifikt tidspunkt

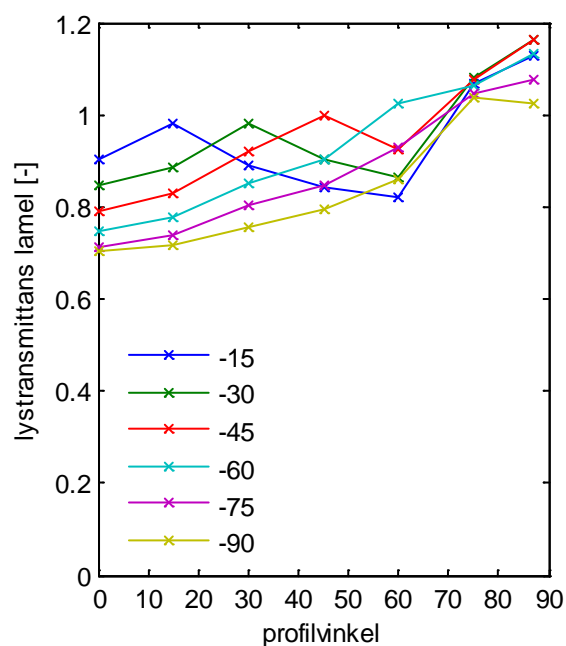
7.1.2.2 Lystransmittans lamel

Lystransmittansen for lamellerne alene er vist på efterfølgende figur.

Ud over de sammenhænge som beskrevet i forrige afsnit, ses det ud fra Figur 37 A og B, at lystransmittansen øges for profilvinkel over 75 grader. Dette skyldes at der er mellemrum mellem lamel og sensorpunkter hvorved direkte lys vil ramme sensorpunkterne. Samtidig vil en del af lyset interreflekteres mellem rude og lamel, hvorfor lystransmittansen er højere end 1.



A

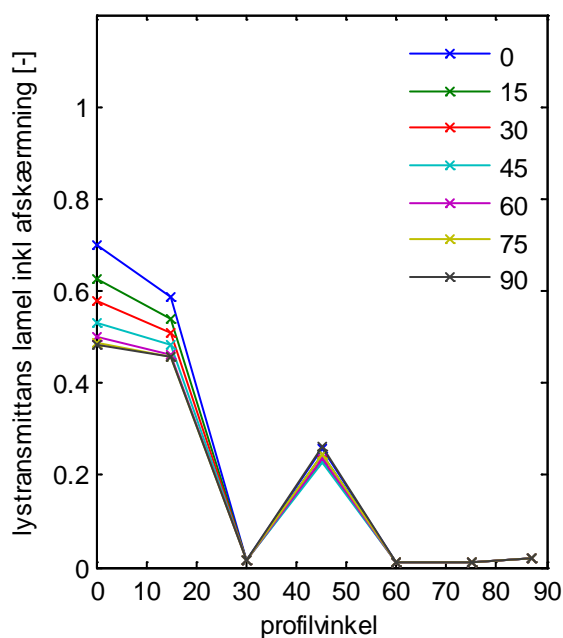


B

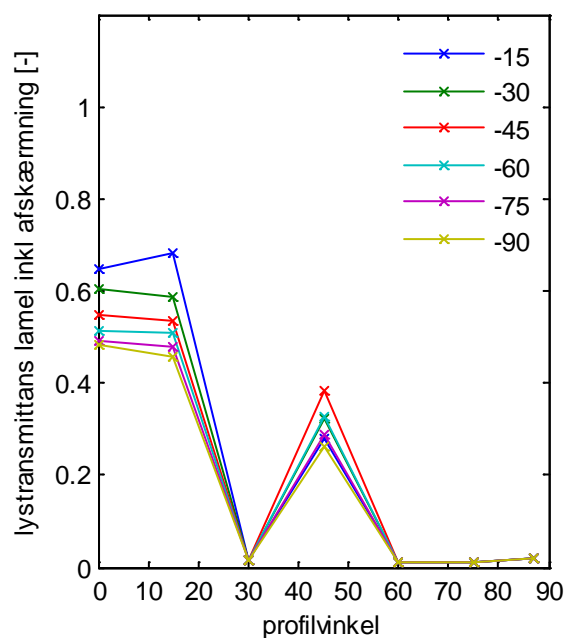
Figur 37 Lystransmittans bestemt for lamelsystemet for forskellige lamelhældninger ved forskellige profilvinkler. A) viser positive lamelhældninger, mens B) viser negative lamelhældninger.

7.1.2.3 Lystransmittans lamel med afskærmning

På Figur 38 ses lystransmittansen for lamelsystemet i situationen, hvor der er simuleret med afskærmning mellem rude og lamel.



A



B

Figur 38 Lystransmittans bestemt for lamelsystemet inkl. afskærmning ved forskellige lamelhældninger og profilvinkler. A) viser positive lamelhældninger, mens B) viser negative lamelhældninger.

Sammenlignes Figur 38 og Figur 37 ses det, at ved at benytte afskærmning omkring lamelsystemet, for at undgå det direkte lys fra sider og top reduceres lystransmittansen i forhold til situationen hvor afskærmningen ikke anvendes.

Ikke overraskende ses det desuden at for profilvinkel 30, 60, 75 og 87 reduceres lystransmittansen til næsten nul. Dette skyldes lysretningen, der på disse tidspunkter kommer enten fra øst eller vest, og afskærmningen blokerer for lyset.

7.1.3 Direkte sol – Reduktion i belysningsstyrke

Reduktionen i belysningsstyrke på arbejdsplan er bestemt gennem rummet med afstanden 0,6 mellem hvert målepunkt. Reduktionsfaktoren beskriver forholdet mellem belysningsniveauet på arbejdsplan med lameller i forhold til belysningsstyrken uden lameller.

Reduktionsfaktoren for lamelhældning på 90 grader er gengivet i Tabel 9.

Tabel 9: Reduktionsfaktor for lamelhældning 90 grader, for belysningsstyrke på arbejdsplan i direkte sol ved forskellige profilvinkler

	Profilvinkel [°]							
Afstand [m]	0	14	30	45	60	75	87	
0.6	0.85	0.69	0.67	0.66	0.62	0.82	0.77	
1.2	0.79	0.68	0.89	0.66	0.88	0.86	0.79	
1.8	0.71	0.67	0.81	0.99	0.89	0.86	0.80	
2.4	0.69	0.67	0.87	0.86	0.80	0.85	0.80	
3	0.67	0.67	0.81	0.90	0.99	0.86	0.79	
3.6	0.68	0.66	0.75	0.84	0.94	0.85	0.79	
4.2	0.82	0.67	0.77	0.79	0.97	0.84	0.79	
4.8	0.73	0.66	0.82	0.81	0.96	0.81	0.75	
5.4	0.65	0.68	0.74	0.78	0.77	0.82	0.74	

Reduktionsfaktorerne bestemt for alle lamelhældninger kan ses i bilag 1.

7.1.4 Direkte sol - vertikal belysningsstyrke i øjenhøjde

I efterfølgende tabel gengives den vertikale belysningsstyrke i øjenhøjde i direkte sol for lamelhældning 90 grader og forskellige profilvinkler. Belysningsstyrkerne er målt i et punkt 1.25m over gulv med retning mod vinduet.

Tabel 10: Belysningsstyrke [lux] 1.25 m over gulv med retning mod vinduet i direkte sol for forskellige profilvinkler og lamelhældning 90 grader.

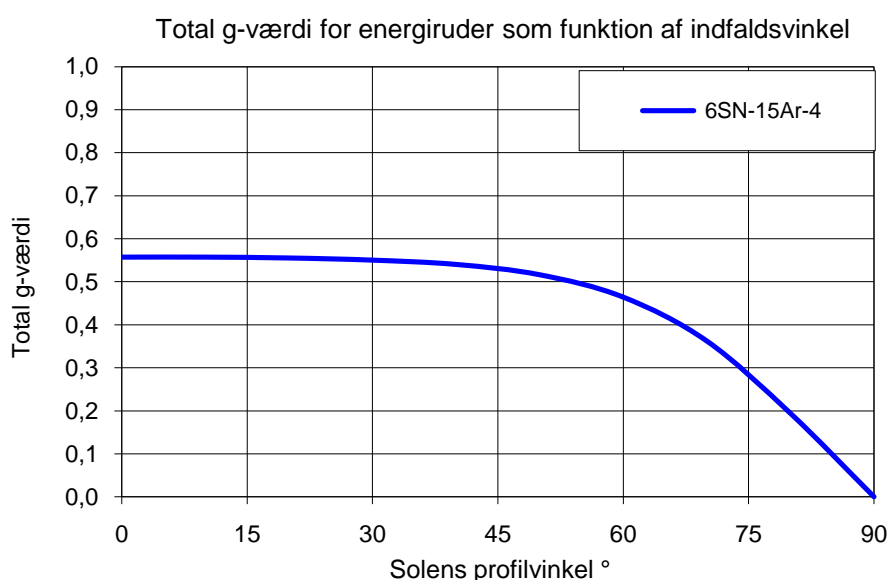
	Profilvinkel [°]						
Afstand [m]	0	15	30	45	60	75	87
0.6	8172.6	23091.8	20725.9	26815.0	21047.4	2190.2	1491.2
1.2	1222.0	22226.8	2338.1	37704.3	2111.2	1293.7	852.9
1.8	910.8	21673.1	2005.1	2482.3	1759.4	972.9	644.4
2.4	830.4	21228.9	1977.4	2047.6	1457.0	749.3	502.8
3	816.4	20885.1	1973.2	1725.9	1103.2	586.0	388.7

3.6	773.7	20565.0	1606.7	1396.4	866.3	471.7	310.6
4.2	652.6	1263.1	1243.1	1008.9	663.2	367.2	245.9
5.4	419.0	20170.1	684.7	619.9	412.4	238.5	166.6

For de resterende lamelhældninger kan den vertikale belysningsstyrke findes i bilag 2.

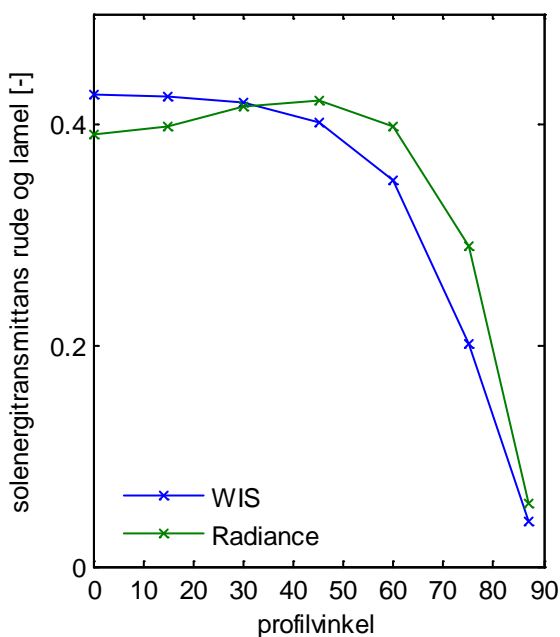
7.1.5 Solenergitransmittans for systemet

Radiance kan ikke regne solenergitransmittanser ud, da programmet kun ser på en optisk ray-tracing beregning, og ikke inkluderer termisk ledning og konvektion. Ud fra undersøgelserne beskrevet i afsnit 0 er der dog gjort den antagelse, at Radiance kan benyttes til at bestemme solenergitransmittansen. Solenergitransmittansen er bestemt ved at gange rudens g-værdi med lystransmittansen for lamelsystemet. Rudens g-værdi ses i Figur 39.



Figur 39: Solenergitransmittans for ruden alene for forskellige profilvinkler

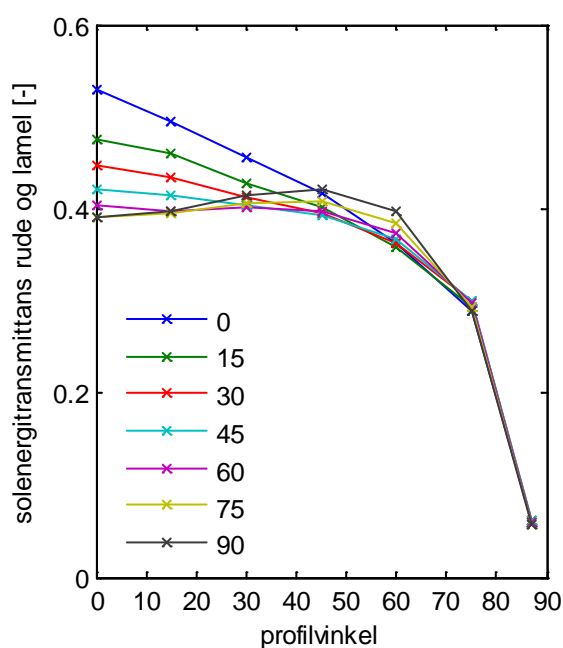
Den beregnede solenergitransmittans for lamel ved 90 graders hældning vha Radiance sammenlignes med solenergitransmittansen bestemt vha WIS, se Figur 40.



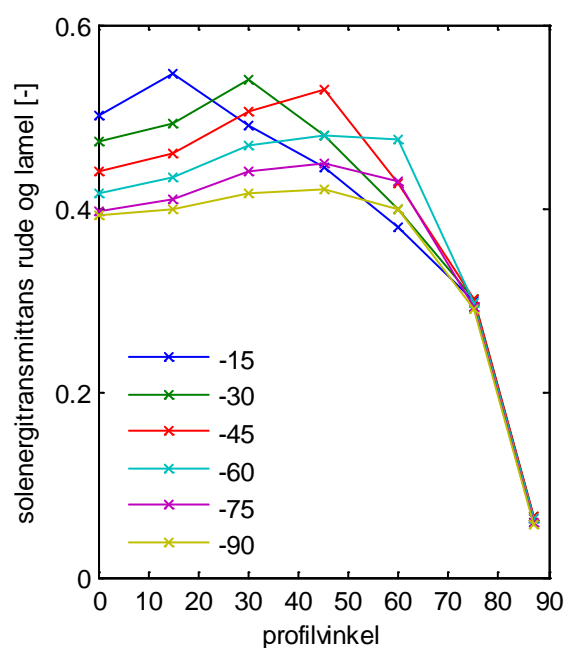
Figur 40: Solenergitransmittans for rude og lamel i 90 graders position, beregnet vha WIS og betsemt ud fra beregninger i Radiance

WIS kan dog ikke regne på den spejlende reflekterende solstråling. Resultaterne fra WIS udgør derfor også en tilnærmelse, hvor glaslamellerne regnes som en diffus reflekterende flade med huller svarende til soltransmittansen. Af Figur 40 ses det, at den største afvigelse mellem WIS og den tilnærmede beregning i Radiance er for høje profilvinkler, hvilket skyldes at lystransmittansen er høj for høje profilvinkler. For at verificere disse tilnærmede resultater, kan der laves beregninger i OptiCad, eller målinger af systemet i et goniospektrofotometer. Dette har dog ikke været muligt i nærværende projekt.

Solenergitransmittansen bestemt for forskellige lamelhældninger kan ses i Figur 41 og efterfølgende Tabel 11.



A



B

Figur 41: Solenergitransmittans for 6SN-51Ar-4 rude og lamel for A) positive lamelhældninger, og B) negative lamelhældninger

Tabel 11: Solenergitransmittansen bestemt for lamelsystem og energiruden 6sn-15Ar-4. Her ses både transmittansen betstemt vha. Radinace og vha WIS

Lamelhaeldning [°]	profilvinkel [°]						
	0	15	30	45	60	75	87
-90	0.39	0.40	0.42	0.42	0.40	0.29	0.06
-75	0.40	0.41	0.44	0.45	0.43	0.29	0.06
-60	0.42	0.43	0.47	0.48	0.47	0.30	0.06
-45	0.44	0.46	0.51	0.53	0.43	0.30	0.07
-30	0.47	0.49	0.54	0.48	0.40	0.30	0.07
-15	0.50	0.55	0.49	0.45	0.38	0.30	0.06
0	0.53	0.50	0.46	0.42	0.36	0.29	0.06
15	0.48	0.46	0.43	0.40	0.36	0.29	0.06
30	0.45	0.43	0.41	0.40	0.36	0.30	0.06
45	0.42	0.41	0.40	0.39	0.37	0.30	0.06
60	0.40	0.40	0.40	0.40	0.37	0.30	0.06
75	0.39	0.39	0.41	0.41	0.38	0.29	0.06
90	0.39	0.40	0.42	0.42	0.40	0.29	0.06

Rude alene, WIS:

	0.557	0.556	0.550	0.530	0.464	0.280	0.056
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Rude inkl. lamel i
90° hældning, WIS:

	0.426	0.425	0.420	0.401	0.349	0.201	0.0405
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------

7.2 anbefalinger

På baggrund af simuleringerne anbefales det at, i overskyet vejr placeres lamellerne med hældning -15, -30 eller -45 grader, da dette giver det et øget lysniveau bagest i rummet på over 10%. For at reducere varmebidraget bør der laves en kontrolstrategi i direkte sol, der sørger for den laveste lystransmittans opnås hele tiden. Resultaterne viser, at for profilvinkler over 15 grader, er det ikke længere en lamelhældning på 90 grader der er den mest solafskærmende, hvilket skyldes at der er mellemrum mellem lameller og rude. En højere solafskærmende effekt kan opnås ved at kontrollere lamellerne således at mest lys kommer gennem lamellerne, dvs. at man sørger for at kontrollere lamellerne således at de er i en vinkelret position i forhold til profilvinklen.

7.3 Konklusion

Simuleringerne viser, at lysniveauet bagerst i rummet ved overskyet vejr er uændret eller bedre når glaslamellerne benyttes. Simuleringer af de termiske forhold i BSim skal eftervise om der opstår overophedning når glaslamellerne benyttes.

Vha. simuleringerne i Radiance er der genereret input data til BSim for den vertikale belysningsstyrke i øjenhøjde i direkte sol, samt inputdata om belysningsstyrken på arbejdsplan både i direkte sol og overskyet vejr for situationen hvor glaslamellerne er parallelle med facaden.

Solenergitransmittansen for direkte sol er desuden tilnærmet ud fra beregninger i Radiance. Viser det sig, i det videre forløb med arbejdet med glaslamellerne, at det er nødvendigt at kende de eksakte solenergitransmittanser, da bør disse beregninger verificeres med f.eks. beregninger i OptiCad eller målinger i et goniospektrofotometer.

8 Energimæssige beregninger

Glaslamelsystemets effekt på det termiske indeklima og energiforbruget i bygningen er analyseret vha. beregninger i programmerne BuildingCalc/ LightCalc og BSim samt ved målinger på solafskærmningssystemet monteret i DTU's Passys-testcelle.

Det skal her bemærkes, at beregningerne foretaget i BSim er baseret på ældre resultater af Radiance simuleringer, hvor glaslamellerne var opbygget af en kombination af Radiance materialerne *trans* og *mirror*. Gennem arbejdet i projektet viste det sig, at denne opbygning af glaslamellerne ikke var korrekt, lystransmittansens vinkelafhængighed blev ikke simuleret korrekt. F.eks. var lystransmittansen i størrelsesordenen 0.2 ved lamelhældning på 90 grader og profilvinkel på 2° og 14°. For simuleringerne i overskyet vejr, var resultaterne mere korrekte. Forskellen på de 2 metoder er generelt set, at lystransmittansen er øget ved at benytte den vinkelafhængige simuleringsmetode (gennemgået i afsnit 7), i forhold til at benytte metoden der ligger til grund for inputdata til BSim simuleringerne. Det betyder derfor også, at der kommer mere lys og mere solvarme ind i rummet, hvorfor energiforbruget bestemt vha. BSim til den kunstige belysning overvurderes, mens kølebehovet undervurderes i sommermånederne og varmebehovet overvurderes i varmesæsonen.

8.1 BuildingCalc/LightCalc

I forbindelse med projektet "Udvikling af værktøjer til at fremme energieffektiv anvendelse af solafskærmninger" støttet af PSO, har BYG.DTU udviklet programmet LightCalc, som kan foretage

simple dagslyssimuleringer og sammen med BuildingCalc, ud fra en meget simpel rummodel, kan beregne energiforbrug og indeklimateforhold for bygninger med variabel solafskærmning. I kraft af BuildingCalc/ LightCalc's simple modelopbygning er det velegnet til indledende beregninger tidligt i designfasen.

BuildingCalc/ LightCalc bruger detaljerede data for rude- og solafskærmningskombination beregnet i programmet WIS som input til simuleringerne. WIS kan beregne energimæssige og optiske data for facadesystemer bestående af vilkårlig opbygning af ruder og solafskærmning. For variable solafskærmninger som f.eks. persienner og lameller kan WIS beregne transmittans og reflektans for forskellige lamelhældninger. Resultaterne angives endvidere for forskellige profilvinkler. WIS bestemmer således optiske egenskaber for kombinationer af vilkårlige lamelhældninger og indfaldsvinkler af solstrålingen. Disse data er vigtige for at opnå realistiske årssimuleringer af solafskærmningers effekt på indeklimate og energiforbrug.

Desværre er det problematisk at modellere glaslameller korrekt som solafskærmning i WIS, idet der for selve lamellen tilsyneladende ikke tages hensyn til transmittansens og reflektansens afhængighed af indfaldsvinklen. Ligeledes angiver WIS ikke retningen af den af lamellerne redigerede stråling. Lysets retning er vigtig at kende for efterfølgende at kunne beregne belysningsstyrken specifikke steder i rummet, som skal bruges til at bestemme energibesparelsen til kunstig belysning.

Der er foretaget indledende beregninger i iDbuild af solafskærmningens effekt på indeklimate og energiforbrug i bygningen. Til sammenligning er der foretaget beregninger med mørke og lyse ikke transparente lameller samt uden afskærmning.

Beregninger i iDbuild:

kWh/m ² year	Total	Cooling	Lighting	Ventilation	Heating
No shading	76	23	23	26	4
Fixed dark opaque lamellas	72	3	41	21	7
Fixed white opaque lamellas	64	4	31	22	7
Dynamic reflective solar control glass lamellas	60	9	24	23	4

Det ses, at de ikke transparente lameller reducerer kølingen mest men til gengæld medfører de større elforbrug til belysning. Glaslamellerne bevarer dagslysforholdene hvorved el til belysning er stort set uændret og derfor giver glaslamellerne den største totale energibesparelse.

Resultaterne fra målinger af de energimæssige egenskaber af glaslamelsystemet i Passys-testcellen (se afsnit 9) vil endvidere blive anvendt til beregninger af effekt på indeklimate og energiforbrug i bygningen.

8.2 BSim

BSim er et integreret edb-værktøj til analyse af bygninger og installationer. BSim rummer en samling avancerede værktøjer til simulering og beregning af bl.a. termisk indeklima, energiforbrug, dagslysforhold, fugtsimulering, naturlig ventilation og elektrisk ydelse fra bygningsintegrerede solceller.

I tidligere versioner af BSim programpakken var beskrivelsen af en solafskærmning begrænset til angivelse af en fast afskærmningsfaktor. I forbindelse med projektet "Udvikling af værktøjer til at fremme energieffektiv anvendelse af solafskærmninger" støttet af PSO, blev der implementeret nye modeller for solafskærmninger, hvor afskærmningsfaktoren kan variere, både efter afskærmningens indstilling (fx lamelhældning på en persienne) og efter tiden på dagen og året. Solens position på himlen i forhold til en given facadeorientering kan beskrives ved profilvinklen, som er solhøjdens projektion på et lodret plan vinkelret på facaden. For hver time i året, som simuleres med BSim, beregnes profilvinklen og herudfra kan man beregne hvordan afskærmningsfaktoren eller g-værdien (den totale solvarmetransmittans) for det samlede system varierer henover dagen og året. Det bemærkes, at mens g-værdien i datablade for ruder og afskærmninger normalt kun angives for stråling vinkelret på ruden, så er den her angivet for enhver indfaldsvinkel af den direkte stråling, ligesom den også angives for diffus stråling.

8.2.1 Anvendelse af resultater fra Radiance

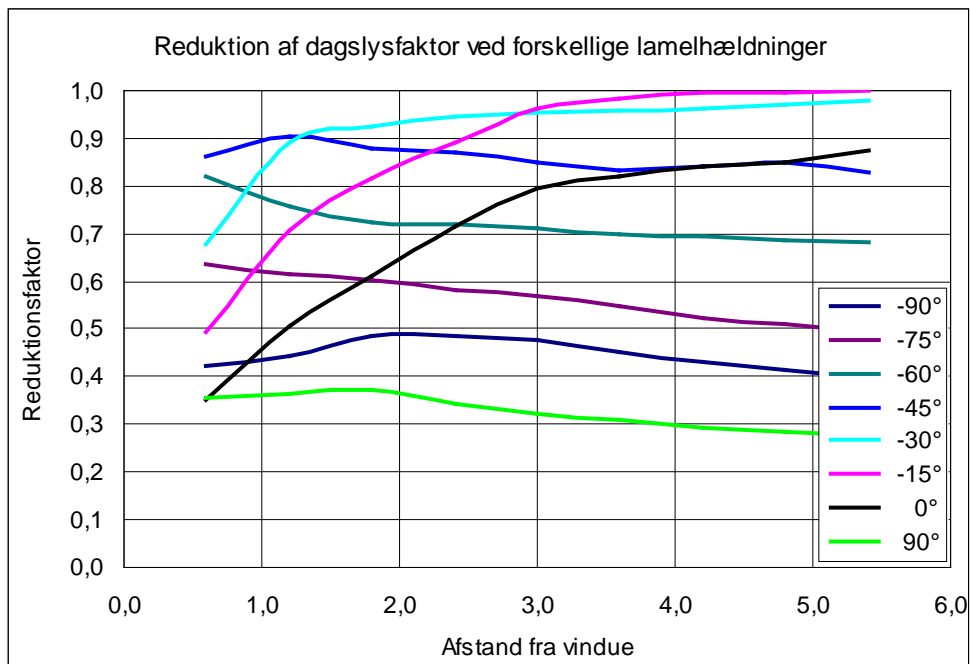
BSim kan regne på almindelige persienser, placeret udvendigt eller indvendigt, idet der er indlagt tabeller for afskærmningsfaktor (g-værdi) for persienser med forskellig reflektans. Det forudsættes, at persiennen anvendes i kombination med en energirude. For at kunne regne på glaslamellerne, er der som led i dette projekt implementeret en mulighed for at brugeren selv kan definere en lamelbaseret afskærmnings egenskaber gennem en tabel. Tabellen skal indeholde g-værdi som funktion af lamelhældning og profilvinkel samt en reduktionsfaktor for dagslys som funktion af lamelhældningen (overskyet vejr). Formatet for tabellen er vist i figur 42.

Reduktion af dagslysfaktor														
Lamelhældning, frit format med stigende værdier														
Afstand fra vindue, m, frit format med stigende værdier	0	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90
	0,6	0,42	0,64	0,82	0,86	0,68	0,49	0,35	0,24	0,21	0,20	0,20	0,26	0,36
	1,2	0,44	0,62	0,76	0,90	0,89	0,71	0,51	0,35	0,27	0,22	0,23	0,28	0,36
	1,8	0,49	0,60	0,72	0,88	0,92	0,81	0,61	0,46	0,33	0,25	0,24	0,28	0,37
	2,4	0,48	0,58	0,72	0,87	0,94	0,89	0,72	0,54	0,40	0,28	0,26	0,27	0,34
	3	0,48	0,57	0,71	0,85	0,96	0,96	0,80	0,60	0,44	0,34	0,27	0,26	0,32
	3,6	0,45	0,55	0,70	0,83	0,95	0,98	0,81	0,65	0,47	0,37	0,29	0,25	0,34
	4,2	0,43	0,52	0,69	0,84	0,96	1,00	0,84	0,68	0,51	0,39	0,29	0,27	0,29
	4,8	0,42	0,51	0,69	0,85	0,97	1,02	0,85	0,67	0,51	0,41	0,31	0,28	0,31
	5,4	0,40	0,50	0,68	0,83	0,98	1,00	0,87	0,70	0,54	0,41	0,30	0,26	0,28
Separator	-1													
Profilvinkel, frit format med stigende værdier	0	0,08	0,22	0,42	0,63	0,81	0,90	0,64	0,59	0,53	0,46	0,38	0,31	0,26
	15	0,04	0,16	0,37	0,64	0,83	0,96	0,59	0,54	0,47	0,41	0,36	0,31	0,26
	30	0,05	0,26	0,54	0,80	0,92	0,96	0,54	0,48	0,43	0,40	0,36	0,31	0,26
	45	0,06	0,39	0,73	0,96	0,70	0,75	0,49	0,46	0,42	0,38	0,34	0,30	0,26
	60	0,13	0,56	0,95	0,72	0,52	0,54	0,46	0,44	0,41	0,37	0,33	0,30	0,27
	75	0,52	0,91	0,72	0,53	0,47	0,50	0,47	0,44	0,41	0,37	0,33	0,29	0,25
	87	0,52	0,73	0,77	0,81	0,19	0,25	0,27	0,27	0,26	0,25	0,24	0,22	0,20
	90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0	0,35	0,59	0,55	0,39	0,20	0,08	0,54	0,53	0,51	0,47	0,42	0,34	0,28
Aktuel solvarmetransmittans for afskærmning (i kombination med den aktuelle rude)														

Aktuel solvarmetransmittans for afskærmning (i kombination med den aktuelle rude)

Figur 42. Beskrivelse af brugerdefinerede tabeller til regulering af lamelbaserede solafskærmninger i BSim. Reguleringen er af typen BlindCtrl. Tabellen laves som en ren tekstfil hvor kolonnerne er separeret af mellemrum eller tabuleringer. Kun tallene inden for den viste ramme må indgå i tabellen. Værdierne i den viste tabel er resultatet fra tidligere Radianceberegninger, for overskyet vejr.

Resultater fra Radiance-beregningerne i **figur 42** er vist for negative lamelhældninger (negative værdier, hvor lamellerne åbner op mod himlen) samt for helt lukkede lameller (+90°) er vist i **figur 43**.



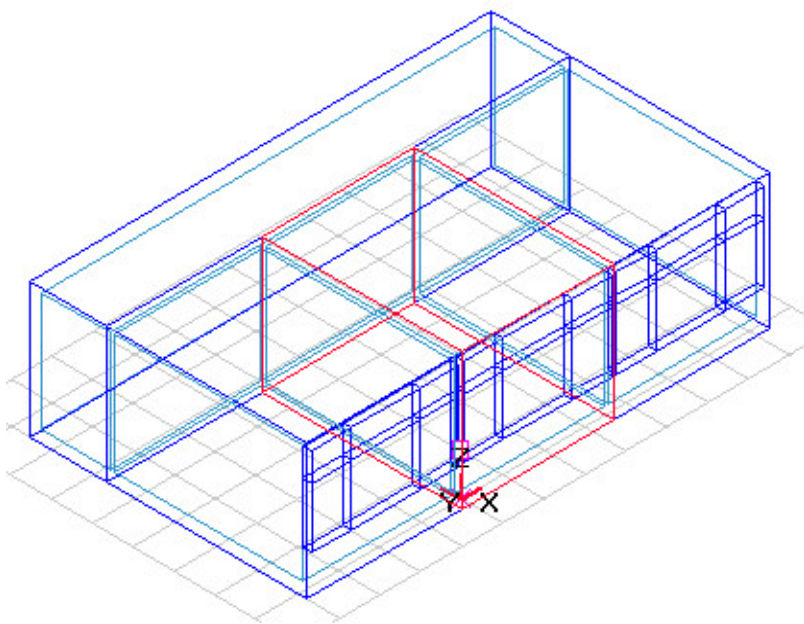
Figur 43. Resultater fra Radiance-beregninger af beregnede reduktionsfaktorer for dagslysfaktoren som funktion af afstanden fra vinduet og ved forskellige lamelhældninger. Hældningen 0° svarer til vandrette lameller, medens negative værdier betyder, at lamellerne åbner op mod himlen. Helt lukkede lameller (med belægningen udad) svarer til 90°.

8.2.2 BSim-beregninger

For at analysere effekten af glaslamellerne som solafskærmning og dagslyssystem blev der opbygget en bygningsmodel i BSim. De aktuelle rum i modellen svarer til cellekontorer med størrelse svarende til SBI's Dagslyslaboratorium, jf. figur 44. Der blev foretaget beregninger for følgende situationer:

1. Uden afskærmning
2. Med glaslameller alene
3. Udvendige grå lameller (persiennet)
4. Indvendige hvide lameller (persiennet)
5. Glaslameller i kombination med indvendige hvide persiennet.

For at kunne sammenligne resultaterne af de 5 beregningsalternativer, er ventilationsreguleringen sat op således, at antallet af timer hvor den operative temperatur overskrider 26 °C reduceres til under 10. Denne reguleringsstrategi medfører et stort kølebehov i tilfælde 1, 2 og 4.

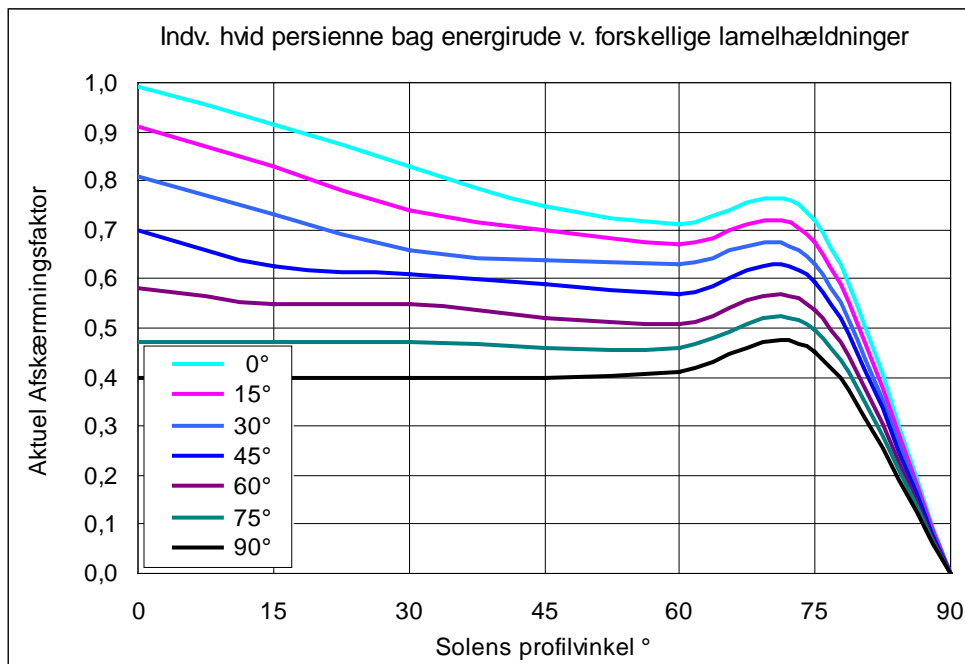


Figur 44. Beregningsmodel for kontorbygning med cellekontorer af same størrelse som SBI's Dagslyslaboratorium.

8.2.3 Blændingsproblemer

I praksis reguleres solafskærmninger primært, når brugerne føler sig generet af blænding fra vinduerne eller eventuelt fra en solafskærmning. I BSim er det muligt at beregne sandsynligheden for visuel diskomfort på grund af blænding ud fra beregninger af belysningsstyrken på lodret plan ved øjenpositioner af brugerne i rummet. Da det ikke lykkedes at få beregnet belysningsstyrker på lodret ved brug af glaslamellerne i direkte sol, har det ikke været muligt at beregne blændingshyppighed ved de forskellige alternativer. Men i situationen uden afskærmning og situationen med glaslameller alene vil der hyppigt optræde blænding på grund af direkte solindfald. Derfor skal der ved sammenligning af resultaterne tages hensyn til, at disse alternativer ikke vil fungere i praksis. I det sidste alternativ hvor glaslamellerne kombineret med en indvendig hvid persienne, er det antaget, at glaslamellerne lukker helt ved direkte sol, men den indvendige hvide persienne står i cut-off position, dvs. den drejer lige akkurat så meget, at direkte solindfald udelukkes. Herved kan det antage, at blændingsproblemerne reduceres afgørende, selv om der stadig vil kunne optræde blænding i enkelte tilfælde, fx på grund af høje luminanser på lamellerne.

Funktionen af de indvendige persiener er illustreret i figur 45. På tidspunkter med direkte sol antages det at glaslamellerne lukkes helt (90°), og at persiennen indstiller sig i cut-off position.

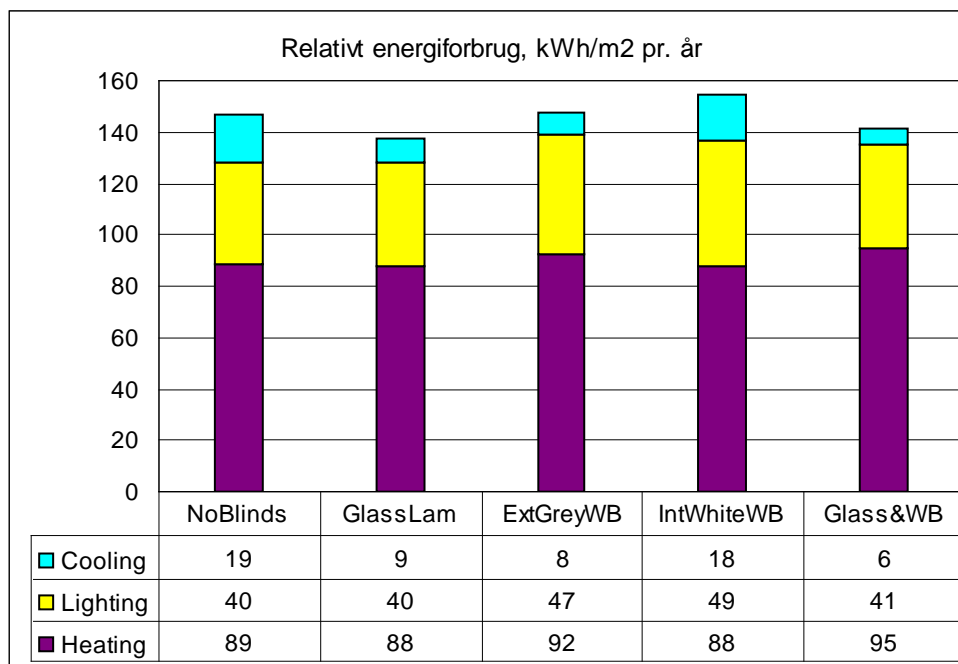


Figur 45. Aktuell afskærmningsfaktor for en hvid persienne, når den bruges i kombination med en energirude. g-værdien for det samlede system af rude plus afskærmning bestemmes ved at gange den aktuelle afskærmningsfaktor med g-værdien for ruden alene ved den aktuelle position af solen.

8.2.4 Resultater

Resultaterne fra de 5 beregninger er illustreret i figur 46, der angiver forskelle i energibehov ved de 5 alternativer. Elforbrug til belysning er multipliceret med en faktor 2,5. Køle- og varmebehov indregnes med en faktor 1,0. Der er regnet med realistiske varmetilskud (-belastninger) fra personer og udstyr, og et totalt ventilationsluftskifte på 2,0 h⁻¹.

Det ses, at af de tre situationer, der er realistiske, medfører glaslameller i kombination med indvendige persienner det laveste energibehov. Behovet for kunstlys er markant lavere i dette tilfælde, men også kølebehovet er lidt mindre end ved en udvendig grå persienne. Da der er lidt usikkerhed om nøjagtigheden i Radiance-beregningerne, bør dette resultat verificeres nærmere, inden det benyttes ukritisk. Varmebehovet er tilsvarende højest i tilfælde 5, fordi der udelukkes mere solvarme i situationer med direkte sol på tidspunkter, hvor der er varmebehov.



Figur 46. Resultater af BSim-beregninger ved 5 alternative situationer. Energibehovene er vægtede, således at elforbrug til belysning er multipliceret med en faktor 2,5. Køle- og varmebehov indregnes med en faktor 1,0. Kølestrategien er sat op således, at antal timer hvor den operative temperatur overskrider 26° C er mindre end 10. Der er ikke taget hensyn til blændingsforhold, som i praksis vil medføre at de to første situationer er urealistiske.

9 Målinger i Passys Test Celle på DTU

For at kunne vurdere solafskærmningssystemets effekt på det termiske indeklima i bygningen og for at demonstrere glaslamellernes virkemåde og påvirkning af dagslysforholdene er i glaslamelsystemet monteret på BYG.DTU's "PASSYS Test celle" som er velegnet til måling af varmetransport gennem facaden under naturlige forhold og påvirkningen af det termiske indeklima.

For at forbedre udsynet er det valgt at anvende korte glaslameller uden bærerør i denne opstilling. De lodrette profiler hvorpå lamellerne er monteret er placeret udfor profilerne i glasfacaden. Glaslamelsystemet monteret uden glasfacaden som er en traditionel glasfacade med aluminiumprofiler og 2-lag lavenergiruder monteret i DTU's Passys test celle er vist på Figur 47.



Figur 47. Glaslamelsystemet monteret uden på en traditionel glasfacade monteret i DTU's Passys test celle.

9.1 Måling af solenergitransmittansen for glaslamellerne.

Der er foretaget målinger af solaenergitransmittansen vha. solarimetre af typen xx. Målingerne blev foretaget den 4. juni 2008 mellem kl. 10.30 og 13.30 i klar solskin fra en skyfri himmel. Da facaden er sydvendt var solens azimut i forhold til facaden i dette tidsrum mellem -35° og 35° . Solhøjden varierede fra ca. 52° til 55° . Der er anvendt et simpelt måleprincip hvor solarimetret er placeres bag ved hhv. lamellerne og lamellerne + ruden. Ved at åbne og lukke for lamellerne måles bestrålingsstyrken fra solen direkte eller gennem lamellerne. Solenergitransmittansen blev herefter bestemt direkte ved at dividere de målte værdier op i hinanden.

Den højeste målte totalstråling (direkte mod solen vinkelret på solstrålingen) var 981 W/m². Målingerne blev foretaget med lamellerne i forskellige hældninger og solarimetret vinkelret på hhv. vinduet og solen. Måleresultaterne er vist i Tabel 12

Tabel 12. Solenergimålinger

Måling	Med lameller	Uden lameller	Afskærmningsfaktor F
1	235	383	0,61
2	159	243	0,66
3	334	599	0,56
4	546	981	0,56

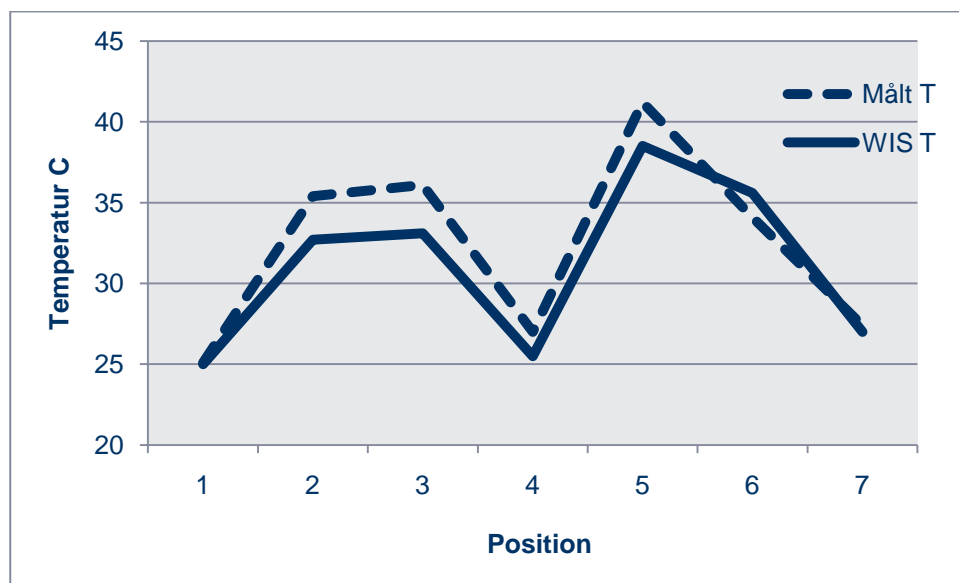
For at kunne foretage en vurdering af den samlede solenergitilførsel gennem facaden blev der samtidig med solstrålingsmålingerne foretaget målinger af temperaturen forskellige steder på facaden. Til målingerne blev anvendt datalogger og termoelementtråd af typen T. Placeringen af målepunkterne og de målte temperaturer fremgår af Tabel 13. Alle målepunkterne var placeret ca. midt på facaden. De målte temperaturer er sammenlignet med beregninger foretaget i programmet WIS, hvor der blev opbygget en model af facaden bestående af ruderne og glaslamelsystemet. I beregningerne er der set bort fra posternes opdeling af vinduet dvs. det er antaget at vinduet består af en stor rude. Glaslamellerne er opbygget i WIS som solafskærmning ved at importere spektrale data for glasset Antelio Silver i programmets solaskærmningsdel. Lamellerne er vinklet i lodret position. De beregnede temperaturer er ligeledes vist i Tabel 13.

Tabel 13. Målte og beregnede temperaturer.

	Målt	Beregnet
	°C	°C
Ude	25.1	25
Glaslameller,udvendig overflade	35.4	32.7
Glaslameller,indvendig overflade	36.1	33.1
mellemrum, 35 cm fra rude	27.0	25.5
Rude, udvendig overflade	41.2	38.5

Rude, indvendig overflade	34.1	35.6
Inde	27.4	27

Målte temperaturer er sammenlignet med de tilsvarende beregnede og luft- og overfladetemperaturer forskellige steder i konstruktionen beregnet i programmet WIS. vist i Figur 48.



Figur 48. Målte og beregnede temperaturer forskellige steder på solafskærmningen og vinduerne.

Det fremgår at de målte temperaturer generelt ligger noget højere end de beregnede, men de følger dog det samme mønster.

Konklusion

Der er i forbindelse med projektet udviklet et nyt solafskærmningssystem bestående af solafskærmende reflekterende glaslameller, som både fungerer som almindelig solafskærmning og samtidig kan forbedre dagslysforholdene inde i bygningen, når der er brug for det, ved at reflektere lyset længere ind i rummet.

De udførte målinger og beregninger viser, at for overskyet vejr reducerer glaslamelsystemet dagslysfaktoren tæt på facaden, hvor der i forvejen er rigeligt lys (dagslysfaktor reduceret fra 10 til 8 1,2 m fra facaden). Til gengæld er den stort set uændret 5 m fra facaden. Dvs. at dagslysniveauet i den kritiske del af lokalet ikke er reduceret. Nogle af målingerne viser oven i købet at dagslysfaktoren er en anelse højere i lokalet med afskærmningen.

Det kan således konkluderes, at glaslamelsystemet ikke forringer dagslysforholdene i lokalet i modsætning til traditionelle ikke transparente lameller eller traditionelle glaslameller, som ikke har reflekterende belægning og som ikke kan vinkles i lysdirigerende position.

Hertil kommer at de transparente lameller af klart glas ikke begrænser udsynet i samme grad som traditionelle ikke-transparente lameller af f.eks. aluminium eller glaslameller med silketryk som forvrænger udsynet.

I klart vejr med direkte solskin og lamellerne i solafskærmende position sker der en reduktion af belysningsstyrken ind gennem hele rummet.

Det udviklede solafskærmningssystem har altså flere fordele i forhold til både udsyn og lystransmittans, samtidig med at det giver god solafskærmning, når der er brug for at reducere solindfaldet for at undgå overtemperaturer i bygningen. På baggrund af dagslysmålingerne må det dog forventes, at der kan opnås el-besparelser til kunstig belysning sammenlignet med traditionelle solafskærmninger, som typisk reducerer dagslysfaktoren i bygningen. Tilsvarende må der forventes energibesparelser til ventilation/køling, da glaslamellerne i lukket position fungerer som et ekstra lag almindeligt solafskærmende glas med kendt effekt på indeklima og energiforbrug.

En sidegevinst ved solafskærmningen er, at den vil kunne reducere varmetabet fra facaden om vinteren og løse problemet med udvendig kondens på energiruderne i facaden.

Referencer

Dijk, Dick van, WIS version 2.0.1 User Guide – Examples of windows as input for WIS, TNO Building and Construction Research, Delft, The Netherlands, November 2003

Reinhart and Walkenhorst 2001 Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds, Energy and Building, 33, 2001, pp683 697

Rayfront User Manual - <http://www.schorsch.com/rayfront/manual> (August 2007)

Skotte, Tine, 2007, Dagslydirigerende solafskaermende glaslameller; Polyteknisk Eksamensprojekt, DTU Byg

Santos, Ines, 2007, Performance evaluation of solar shading systems, Master thesis, DTU Byg

Ward, Greg, 1998, Rendering with Radiance,

Bilag 1 – Reduktionsfaktorer for arbejdsplanet i direkte sol

Reduktionsfaktor

lamel 0 grader

afstand [m]	profilvinkel [°]						
	0	15	30	45	60	75	87
0.6	0.924	0.961	0.635	0.665	0.669	0.931	0.914
1.2	0.949	0.977	0.947	0.665	0.965	0.979	0.952
1.8	0.922	0.975	0.955	0.996	1.005	0.980	0.961
2.4	1.019	0.990	0.941	0.940	0.941	0.991	0.968
3	0.921	0.544	0.797	0.967	0.975	0.962	0.978
3.6	0.969	0.988	0.866	0.914	0.976	1.003	1.008
4.2	1.074	0.993	0.810	0.909	1.060	0.954	0.967
4.8	1.064	0.569	0.931	0.900	0.994	0.969	0.919
5.4	0.944	0.965	0.875	0.909	0.910	0.994	0.965

lamel 15 grader

afstand [m]	profilvinkel [°]						
	0	15	30	45	60	75	87
0.6	0.91	0.67	0.67	0.48	0.69	1.15	1.10
1.2	0.92	0.67	0.91	0.67	1.02	1.07	1.01
1.8	0.87	0.97	0.88	1.00	1.00	0.97	0.99
2.4	0.87	0.98	0.88	0.92	0.94	1.01	0.96
3	0.83	0.64	0.78	0.89	0.96	0.97	0.98
3.6	0.84	0.97	0.84	0.92	0.92	1.01	0.98
4.2	0.95	0.99	0.87	0.91	1.08	0.96	1.01
4.8	0.93	0.65	0.88	0.87	0.97	0.98	0.93
5.4	0.81	0.68	0.83	0.84	0.85	1.04	0.97

lamel 30 grader

afstand [m]	profilvinkel [°]						
	0	15	30	45	60	75	87
0.6	0.89	0.70	0.69	0.48	0.68	1.08	0.99
1.2	0.84	0.69	0.99	0.68	1.08	1.12	1.02
1.8	0.83	0.97	0.89	1.00	1.10	1.10	1.04
2.4	0.84	0.68	0.91	0.96	1.03	1.09	1.03
3	0.78	0.67	0.78	0.99	1.11	1.08	1.04
3.6	0.78	0.66	0.90	0.94	1.06	1.12	1.07
4.2	0.85	0.98	0.73	0.98	1.18	1.07	1.06
4.8	0.88	0.66	0.86	0.92	1.22	1.08	1.01
5.4	0.76	0.69	0.80	0.89	1.01	1.13	1.06

lamel 45 grader

	profilvinkel [°]						
afstand [m]	0	15	30	45	60	75	87
0.6	0.88	0.70	0.68	0.47	0.67	0.89	0.77
1.2	0.82	0.68	0.89	0.67	0.95	0.95	0.86
1.8	0.74	0.96	0.84	1.00	1.04	1.01	0.91
2.4	0.76	0.67	0.86	0.96	0.98	1.03	0.94
3	0.78	0.67	0.83	1.00	1.07	1.04	0.97
3.6	0.76	0.66	0.77	0.95	1.06	1.11	0.99
4.2	0.86	0.67	0.83	0.96	1.18	1.10	1.04
4.8	0.79	0.67	0.97	0.98	1.23	1.12	0.97
5.4	0.80	0.68	0.74	0.97	1.05	1.20	1.06

lamel 60 grader

	profilvinkel [°]						
afstand [m]	0	15	30	45	60	75	87
0.6	0.84	0.70	0.67	0.46	0.66	0.80	0.73
1.2	0.77	0.69	0.87	0.67	0.90	0.90	0.80
1.8	0.72	0.67	0.80	0.99	0.96	0.93	0.86
2.4	0.74	0.67	0.87	0.91	0.95	0.95	0.87
3	0.72	0.67	0.80	0.96	1.02	0.97	0.91
3.6	0.69	0.66	0.78	0.91	0.95	0.98	0.87
4.2	0.84	0.67	0.77	0.86	1.08	0.99	0.87
4.8	0.72	0.66	1.01	0.89	1.11	0.97	0.85
5.4	0.72	0.68	0.88	0.89	0.95	0.93	0.86

lamel 75 grader

	profilvinkel [°]						
afstand [m]	0	15	30	45	60	75	87
0.6	0.86	0.69	0.67	0.46	0.65	0.82	0.76
1.2	0.73	0.68	0.80	0.67	0.88	0.85	0.77
1.8	0.70	0.67	0.82	0.99	0.96	0.89	0.81
2.4	0.74	0.68	0.83	0.91	0.92	0.87	0.80
3	0.66	0.67	0.78	0.89	0.94	0.87	0.81
3.6	0.73	0.66	0.74	0.88	0.89	0.88	0.81
4.2	0.77	0.67	0.81	0.86	0.98	0.86	0.81
4.8	0.74	0.67	0.90	0.86	0.93	0.87	0.74
5.4	0.70	0.68	0.92	0.78	0.77	0.85	0.77

lamel 90 grader

profilvinkel [°]

afstand [m]	0	15	30	45	60	75	87
0.6	0.85	0.69	0.67	0.66	0.62	0.82	0.77
1.2	0.79	0.68	0.89	0.66	0.88	0.86	0.79
1.8	0.71	0.67	0.81	0.99	0.89	0.86	0.80
2.4	0.69	0.67	0.87	0.86	0.80	0.85	0.80
3	0.67	0.67	0.81	0.90	0.99	0.86	0.79
3.6	0.68	0.66	0.75	0.84	0.94	0.85	0.79
4.2	0.82	0.67	0.77	0.79	0.97	0.84	0.79
4.8	0.73	0.66	0.82	0.81	0.96	0.81	0.75
5.4	0.65	0.68	0.74	0.78	0.77	0.82	0.74

lamel -15 grader

	profilvinkel [°]						
afstand [m]	0	15	30	45	60	75	87
0.6	0.95	0.98	0.98	0.99	0.66	0.90	0.90
1.2	0.97	0.99	0.99	0.65	0.94	0.97	0.94
1.8	0.93	0.99	0.90	1.00	0.98	0.99	0.98
2.4	0.93	1.00	0.92	0.96	0.95	1.00	1.00
3	0.95	1.01	0.88	1.06	1.00	0.97	1.01
3.6	0.93	1.00	1.01	0.99	0.94	1.08	1.04
4.2	1.06	1.01	1.00	1.01	1.08	1.02	0.99
4.8	0.93	0.98	0.98	1.03	1.09	1.00	0.96
5.4	0.90	0.99	0.92	1.03	0.87	1.08	1.04

lamel -30 grader

	profilvinkel [°]						
afstand [m]	0	15	30	45	60	75	87
0.6	1.03	1.02	1.00	1.00	0.64	0.99	1.01
1.2	0.89	1.00	1.01	0.56	0.95	0.99	0.98
1.8	0.87	0.98	0.96	1.00	0.99	0.98	0.97
2.4	0.87	0.99	1.01	1.01	0.95	1.00	0.98
3	0.84	0.57	0.85	1.04	1.00	0.96	1.01
3.6	0.85	0.98	1.01	0.98	0.98	1.03	0.99
4.2	0.94	0.99	0.81	1.04	1.03	1.02	0.99
4.8	0.91	0.58	1.15	1.00	1.10	0.97	0.94
5.4	0.92	0.96	0.98	0.87	0.94	1.03	0.98

lamel -45 grader

	profilvinkel [°]						
afstand [m]	0	15	30	45	60	75	87
0.6	0.95	0.69	0.99	1.00	1.00	0.97	0.97

1.2	0.88	0.68	0.99	1.00	0.98	0.97	0.93
1.8	0.86	0.97	0.91	1.00	1.00	0.97	0.94
2.4	0.85	0.66	0.96	1.00	0.92	0.96	0.93
3	0.78	0.66	0.91	0.98	1.00	0.97	0.93
3.6	0.78	0.97	0.93	0.96	0.96	0.99	0.98
4.2	0.85	0.98	0.90	0.95	1.02	0.92	0.95
4.8	0.75	0.66	1.08	0.94	1.01	0.96	0.88
5.4	0.78	0.68	0.88	0.96	0.90	0.97	0.95

lamel -60 grader

profilvinkel [°]							
afstand [m]	0	15	30	45	60	75	87
0.6	0.90	0.70	0.62	0.99	1.00	0.95	0.95
1.2	0.85	0.69	0.94	0.52	0.96	0.95	0.91
1.8	0.78	0.97	0.95	1.00	0.94	0.93	0.91
2.4	0.79	0.68	0.88	0.93	0.90	0.93	0.91
3	0.75	0.67	0.84	0.95	0.95	0.92	0.90
3.6	0.78	0.66	0.86	0.94	0.89	0.95	0.90
4.2	0.87	0.67	0.79	0.88	0.99	0.88	0.87
4.8	0.81	0.67	0.92	0.89	1.00	0.94	0.87
5.4	0.74	0.69	0.74	0.92	0.77	0.93	0.90

lamel -75 grader

profilvinkel [°]							
afstand [m]	0	15	30	45	60	75	87
0.6	0.87	0.69	0.65	0.99	0.99	0.89	0.88
1.2	0.80	0.69	0.89	0.64	0.89	0.90	0.83
1.8	0.73	0.68	0.89	0.99	0.93	0.89	0.85
2.4	0.76	0.67	0.89	0.90	0.86	0.87	0.83
3	0.66	0.67	0.73	0.89	0.93	0.84	0.84
3.6	0.70	0.66	0.83	0.84	0.83	0.89	0.83
4.2	0.72	0.67	0.91	0.88	0.99	0.84	0.83
4.8	0.68	0.66	0.87	0.88	1.00	0.83	0.77
5.4	0.70	0.68	0.71	0.86	0.79	0.91	0.80

lamel -90 grader

profilvinkel [°]							
afstand [m]	0	15	30	45	60	75	87
0.6	0.84	0.69	0.67	0.66	0.62	0.82	0.77
1.2	0.75	0.68	0.87	0.66	0.89	0.86	0.78
1.8	0.70	0.67	0.81	0.99	0.90	0.86	0.80

2.4	0.75	0.67	0.81	0.89	0.84	0.87	0.81
3	0.70	0.67	0.75	0.89	0.91	0.86	0.81
3.6	0.70	0.66	0.74	0.84	0.94	0.87	0.80
4.2	0.82	0.67	0.77	0.83	0.92	0.85	0.79
4.8	0.72	0.66	0.86	0.81	0.99	0.89	0.73
5.4	0.72	0.68	0.74	0.77	0.76	0.86	0.79

Bilag 2 – Vertikal illuminans i øjenhøjde for forskellige lamelhældninger

lamel 0 grader

		profilvinkel [°]						
afstand [m]								
	0	15	30	45	60	75	87	
0.6	11811.37	33581.19	30500.11	27178.87	21302.34	2519.354	1814.65	
1.2	1472.489	32867.65	2625.725	38106.04	2395.609	1548.862	1092.552	
1.8	1134.446	32287.67	2258.258	2813.758	1947.069	1136.501	800.807	
2.4	1066.273	31730.63	2310.38	2285.203	1557.721	891.6062	621.7749	
3	1025.923	31281.87	2182.358	1927.675	1210.06	703.9375	494.3708	
3.6	1033.377	16306.81	1803.195	1520.188	934.5871	547.4125	382.2819	
4.2	922.9212	1588.354	1354.967	1134.757	694.9652	424.436	312.1776	
5.4	546.5631	15811.68	836.2537	715.1675	447.6201	277.5219	212.5652	

lamel 15 grader

afstand [m]		profilvinkel [°]						
		0	15	30	45	60	75	87
0.6	6806.306	33273.54	30430.23	27582.32	21615.72	2702.718	1876.794	
1.2	1343.347	21512.6	2564.621	26159.86	2454.515	1634.342	1112.123	
1.8	1057.803	20946.08	2189.112	2839.153	2022.512	1219.745	829.3534	
2.4	956.5715	31542.03	2224.992	2283.29	1615.461	958.9097	649.715	
3	947.7881	31142.67	2161.019	1908.397	1284.298	726.8849	510.0657	
3.6	930.8048	19733.86	1695.361	1484.137	992.258	558.1748	401.2281	
4.2	828.3428	1475.65	1341.53	1118.35	761.0592	455.8686	318.906	
5.4	504.8255	19235.27	778.4713	714.4658	473.2153	296.9549	219.7322	

lamel 30 grader

profilvinkel [°]							
afstand [m]							
	0	15	30	45	60	75	87

0.6	7788.764	33450.2	21461.88	28415.89	16258.39	3164.381	2089.829
1.2	1317.881	22343.94	2793.664	26666.45	2978.741	1933.702	1282.189
1.8	1031.99	21771.02	2333.417	3115.518	2294.407	1407.284	928.1512
2.4	924.0134	31546.79	2261.164	2446.401	1826.801	1074.063	710.052
3	926.9286	20802.64	2078.014	1974.555	1365	806.1652	549.4124
3.6	882.0867	20488.26	1659.288	1561.689	1058.768	642.4809	428.4385
4.2	756.1259	1438.341	1269.453	1188.591	812.0806	503.4916	341.2384
5.4	514.3632	19995.25	755.3112	728.3414	529.0374	329.309	227.681

lamel 45 grader

		profilvinkel [°]						
afstand								
[m]		0	15	30	45	60	75	87
0.6	8100.186	33458.62	15441.71	20316.89	21921.95	2792.471	1814.498	
1.2	1330	22519.71	2779.74	26582.65	2794.502	1784.073	1126.757	
1.8	993.3894	21926.96	2289.504	3049.633	2290.581	1330.437	838.7177	
2.4	894.65	31506.57	2219.915	2417.363	1805.378	1007.233	653.3724	
3	870.646	20997.07	2053.472	2006.229	1379.683	790.4817	520.9795	
3.6	860.6075	20691.38	1702.603	1592.361	1096.655	629.6389	418.5442	
4.2	715.792	1417.968	1289.264	1232.297	846.8923	517.4855	335.3046	
5.4	457.6279	20234.58	771.8891	788.5406	570.74	340.4057	229.6677	

lamel 60 grader

		profilvinkel [°]						
afstand								
[m]		0	15	30	45	60	75	87
0.6	8153.561	23252.42	15190.09	27543.96	21372.01	2368.485	1513.699	
1.2	1273.353	22389.15	2578.701	26165.8	2396.689	1472.258	909.1523	
1.8	953.6387	21803.17	2155.332	2710.363	1886.733	1111.998	672.5603	
2.4	860.3543	21327.16	2077.414	2184.349	1534.163	860.1625	527.0703	
3	843.3126	20934.05	1955.831	1829.433	1177.99	668.5303	416.7836	
3.6	836.9894	20661.2	1628.068	1479.143	942.5362	554.8207	339.9962	
4.2	744.0925	1343.198	1242.233	1124.483	710.9535	414.5518	270.1855	
5.4	446.5172	20147.51	718.1034	663.4519	448.8872	272.8626	178.5841	

lamel 75 grader

		profilvinkel [°]						
afstand								
[m]		0	15	30	45	60	75	87
0.6	8229.437	23354.46	15035.47	27218.04	21090.55	2183.766	1426.386	
1.2	1289.181	22427.1	2483.376	25877.39	2215.781	1352.391	845.1968	
1.8	945.6768	21795.83	2089.79	2606.874	1838.482	1000.573	629.0584	

2.4	840.2031	21283.33	1990.064	2042.629	1412.727	792.5801	492.6238
3	809.8583	20877.02	1912.172	1720.382	1100.757	591.7033	387.1825
3.6	780.7247	20575.09	1576.991	1389.773	847.5602	448.6569	305.2754
4.2	662.5969	1267.592	1235.968	1029.821	672.1889	372.4439	250.8812
5.4	431.74	20144.22	707.8986	630.3293	411.7901	247.7969	165.2029

lamel 90 grader

		profilvinkel [°]						
afstand								
[m]		0	15	30	45	60	75	87
0.6		8172.6	23091.8	20725.9	26815.0	21047.4	2190.2	1491.2
1.2		1222.0	22226.8	2338.1	37704.3	2111.2	1293.7	852.9
1.8		910.8	21673.1	2005.1	2482.3	1759.4	972.9	644.4
2.4		830.4	21228.9	1977.4	2047.6	1457.0	749.3	502.8
3		816.4	20885.1	1973.2	1725.9	1103.2	586.0	388.7
3.6		773.7	20565.0	1606.7	1396.4	866.3	471.7	310.6
4.2		652.6	1263.1	1243.1	1008.9	663.2	367.2	245.9
5.4		419.0	20170.1	684.7	619.9	412.4	238.5	166.6

lamel -15 grader

		profilvinkel [°]						
afstand								
[m]		0	15	30	45	60	75	87
0.6		12014.75	34003.79	30883.38	26772	21462.67	2635.875	1896.586
1.2		1615.413	33268.87	2838.276	38475.2	2566.342	1642.618	1164.152
1.8		1202.509	32584.64	2533.123	3100.823	2033.734	1241.839	852.9176
2.4		1102.026	31974.22	2502.755	2471.296	1674.661	923.2558	659.8801
3		1038.122	31493.13	2368.098	2059.937	1276.503	728.1567	518.4477
3.6		1041.288	31085.82	1969.036	1659.194	948.4926	582.9787	410.5009
4.2		854.4977	1709.463	1424.523	1262.806	759.6498	443.4111	329.1148
5.4		567.7336	30481.93	883.7408	771.8581	474.5045	295.0377	219.8154

lamel -30 grader

		profilvinkel [°]						
afstand								
[m]		0	15	30	45	60	75	87
0.6		7848.514	34003.47	31008.91	39966.4	21709.37	2735.366	1947.477
1.2		1485.342	32965.31	2823.155	38548.68	2608.379	1631.954	1138.232
1.8		1128.151	32299.92	2471.518	3157.699	2074.484	1202.653	822.3348
2.4		1009.704	31694.67	2541.263	2548.497	1598.231	910.7318	632.0259
3		970.4333	31234.44	2420.214	2171.245	1265.387	693.8404	492.1689
3.6		954.3848	17109.45	1922.275	1674.003	971.6757	550.0487	390.4779

4.2	794.3909	1529.458	1537.429	1267.19	786.6225	450.8495	312.8515
5.4	503.8125	16541.51	952.4317	766.4164	502.63	288.7283	209.365

lamel -45 grader

	profilvinkel [°]						
afstand							
[m]	0	15	30	45	60	75	87
0.6	8231.275	33681.92	30796.55	39819.71	21642.93	2685.456	1896.5
1.2	1456.296	21898.84	2672.586	38341.48	2561.566	1602.673	1104.806
1.8	1070.138	21262.15	2353.863	2993.259	2019.31	1180.792	798.4743
2.4	969.9093	31608.38	2541.809	2478.876	1616.498	882.8914	616.3113
3	913.8667	20264.25	2335.182	2050.623	1228.378	692.8394	483.7189
3.6	917.0933	19969.04	1965.877	1608.246	934.7015	548.7164	380.3666
4.2	779.16	1495.735	1434.686	1193.127	729.3279	430.1637	305.5467
5.4	476.4126	19424.63	839.1578	731.4046	458.2779	277.4099	207.0756

lamel -60 grader

	profilvinkel [°]						
afstand							
[m]	0	15	30	45	60	75	87
0.6	8289.459	33484.99	30620.39	39595.85	21489.07	2571.793	1791.328
1.2	1379.973	22408.78	2598.653	38181.61	2483.297	1504.497	1028.548
1.8	1028.272	21745.19	2274.897	2838.223	2024.195	1113.146	743.3011
2.4	901.6567	31452.82	2181.722	2268.566	1581.665	832.2773	572.5272
3	854.2336	20800.85	2223.005	1904.341	1257.151	668.1481	447.9749
3.6	829.5948	20474.82	1861.071	1476.925	932.1159	528.1157	356.9287
4.2	733.9281	1382.853	1368.011	1104.545	703.4754	398.6854	285.2845
5.4	467.3463	19962.54	786.377	678.5615	440.5961	262.8042	188.6823

lamel -75 grader

	profilvinkel [°]						
afstand							
[m]	0	15	30	45	60	75	87
0.6	8220.363	33271.29	30417.55	26154.85	21270.69	2353.034	1609.261
1.2	1303.508	22359.43	2427.53	37982.54	2300.449	1393.893	925.7364
1.8	956.8773	21722.37	2138.623	2665.167	1839.635	1019.451	673.7447
2.4	861.0796	21233.49	2118.992	2114.323	1486.517	778.9164	518.6546
3	827.5607	20813.6	1974.286	1802.432	1108.769	611.1706	411.4089
3.6	794.7142	20543.39	1678.677	1419.932	909.3029	477.3717	330.7625
4.2	670.784	1334.684	1263.976	1028.621	690.3814	379.2487	262.5112
5.4	414.4516	20093.05	728.5086	643.0888	420.0452	245.2538	173.7133

lamel -90 grader

		profilvinkel [°]						
afstand		0	15	30	45	60	75	87
[m]								
0.6	8179.452	23126.21	20780.45	26842.37	21078.95	2209.467	1496.58	
1.2	1218.312	22236.29	2328.377	37721.25	2126.333	1291.193	850.1616	
1.8	916.826	21678.88	2067.078	2527.124	1753.159	987.1671	649.6426	
2.4	849.9654	21260.46	2043.462	2041.404	1440.892	759.7689	498.8204	
3	823.5448	20881	1971.069	1749.312	1148.478	579.8163	396.9171	
3.6	784.8136	20587.48	1646.714	1387.787	865.9099	487.4557	311.9693	
4.2	651.5345	1266.264	1259.227	1038.172	643.3449	368.6433	246.2025	
5.4	418.0999	20123.04	693.5207	633.3587	403.9861	235.4274	166.471	

Ved hjælp af programmet Radiance er der foretaget simuleringer af dagslysforholdene i et kontor-lokale med det udviklede solafskærmningskoncept. Beregningerne har vist, at en lamelhældning på -30 grader giver bedste dagslysdigerende effekt i overskyet vejr. I denne position fås, sammenlignet med samme facade uden solafskærmning, en mindre reduktion af dagslysfaktoren tæt på vinduerne, mens lysforholdene bagest i lokalet er stort set uændrede. Der er foretaget dagslysmålinger af solafskærmningssystemet i SBI's dagslyslaboratorium. Målingerne viser, at dagslysfaktoren i overskyet vejr reduceres med ca. 20 pct. 1,2 m fra facaden, hvor der som regel er rigeligt lys, mens den er uændret eller en anelse højere bagest i lokalet, hvor der ofte er problemer med for lidt dagslys.

Altså svarer resultaterne fra beregningerne stort set til målingerne. Det udviklede solafskærmningssystem reducerer sollysfaldet i solafskærmende position uden at forringe dagslysforholdene i bygningen under overskyede forhold, hvor lamellerne er vinklet i dagslysdigerende position. Glaslamelsystemets effekt på det termiske indeklima og energiforbrug er analyseret vha. beregninger i programmet BSim og ved målinger på solafskærmningssystemet monteret i DTU's Passys testcelle.

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg
Danmarks Tekniske Universitet

Brovej, Bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
Tlf. 45 25 17 00

www.byg.dtu.dk